

(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
09 novembre 2017 (09.11.2017)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/191236 A2

- (51) Classification internationale des brevets :
G01J 3/02 (2006.01) G01J 3/28 (2006.01)
G01J 3/18 (2006.01) G01J 3/52 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2017/060614
- (22) Date de dépôt international :
04 mai 2017 (04.05.2017)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1654055 04 mai 2016 (04.05.2016) FR
- (71) Déposant : CENTRE TECHNOLOGIQUE ALPHANOVOV [FR/FR] ; rue François Mitterrand, 33400 TALENCE (FR).
- (72) Inventeur : ZOUBIR, Arnaud ; 66A rue de Beausoleil, 33170 GRADIGNAN (FR).
- (74) Mandataire : BREVALEX ; 56 Boulevard de l'Embouchure, B.P. 27519, 31075 TOULOUSE Cedex 2 (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK,

(54) Title: METHOD FOR CALIBRATING A SPECTRUM OBTAINED USING AN ELECTRONIC DEVICE EQUIPPED WITH A REMOVABLE ACCESSORY

(54) Titre : PROCÉDE D'ÉTALONNAGE D'UN SPECTRE OBTENU A L'AIDE D'UN APPAREIL ELECTRONIQUE EQUIPÉ D'UN ACCESSOIRE AMOVIBLE

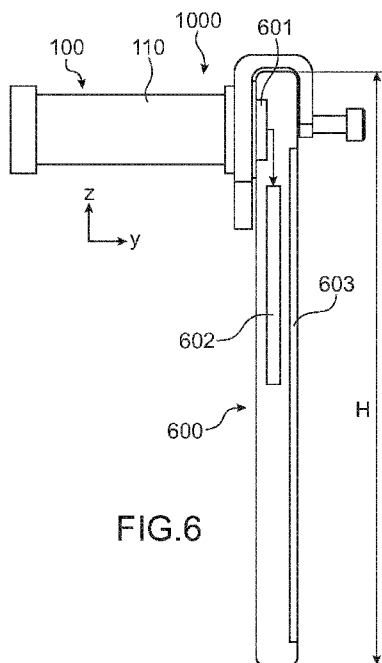


FIG. 6

(57) Abstract: The invention relates to a method implemented in a system (1000) comprising: an electronic device (600), such as a mobile telephone or a digital tablet, comprising, in particular, a colour photosensitive multi-pixel sensor; and a removable accessory (100) comprising a casing (110) secured to the electronic device, said casing receiving wavelength dispersion means and beam rectification means. The method according to the invention is implemented by computation means (603) belonging to the electronic device (600) and comprises, in particular, a preliminary step of determining wavelength calibration data, with an adjustment step comprising the following sub-steps of: receiving an adjustment image supplied by the photosensitive multi-pixel sensor (601); searching for a region having a minimal difference in light intensity, measured on two neighbouring pixels each associated with the detection of a different wavelength; and, based on a comparison between the first wavelength calibration data and the position of said region in the adjustment image, determining second wavelength calibration data.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé mis en œuvre dans un système (1000) comprenant : - un appareil électronique (600) tel qu'un téléphone portable ou une tablette numérique, comportant notamment un capteur multi-pixels photosensible couleur; et - un accessoire amovible (100) comportant un boîtier (110) fixé à l'appareil électronique, le boîtier recevant des moyens de dispersion en longueur d'onde et des moyens de redressement de faisceau. Le procédé selon l'invention est mis en œuvre par des moyens de calcul (603) de l'appareil électronique (600), et comprend notamment une étape préliminaire de détermination de données d'étalonnage en longueur d'onde, avec une étape d'ajustement comprenant les sous-étapes suivantes : - réception d'une image d'ajustement fournie par le capteur multi-pixels photosensible (601); - recherche d'une région dans laquelle une différence d'intensité lumineuse, mesurée sur deux pixels voisins associés chacun à la détection d'une longueur d'onde différente, est minimale; - à partir d'une comparaison entre des premières données d'étalonnage en longueur d'onde, et la position de ladite région sur l'image d'ajustement, détermination de secondes données d'étalonnage en longueur d'onde.



MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,
PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2(g))*

**PROCEDE D'ETALONNAGE D'UN SPECTRE OBTENU A L'AIDE D'UN APPAREIL
ELECTRONIQUE EQUIPÉ D'UN ACCESSOIRE AMOVIBLE**

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

5 L'invention concerne le domaine de la spectrométrie, c'est-à-dire la mesure d'une répartition d'intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde, dite spectre lumineux.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

On connaît dans l'art antérieur différents appareils de spectrométrie, un appareil de spectrométrie comprenant généralement :

- 10 - une source lumineuse, par exemple une source infrarouge, ultraviolette ou visible, pour illuminer un objet à analyser ;
- des moyens de dispersion en longueur d'onde, pour séparer spatialement les différentes contributions spectrales d'un faisceau lumineux renvoyé par l'objet illuminé ;
- une barrette de détection, pour la détection de ces contributions spectrales ;
- 15 et
- des moyens de calcul, pour calculer un spectre lumineux à partir d'un signal détecté par la barrette de détection.

20 Le document US 2012/0184827 illustre un exemple d'un tel appareil de spectrométrie, dédié plus spécifiquement à des applications médicales. L'appareil est miniaturisé, permettant qu'il se présente par exemple sous la forme d'un simple bracelet, pour réaliser des contrôles de glycémie sur un utilisateur.

Un inconvénient de ces appareils est cependant leur coût de production élevé.

25 Un objectif de la présente invention est de proposer une solution pour réaliser des mesures de spectre lumineux, à faible coût.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Cet objectif est atteint avec un accessoire amovible pour un appareil électronique muni d'un capteur multi-pixels photosensible, de moyens de calcul et d'un écran, tel qu'un téléphone portable ou une tablette numérique, et un procédé associé pour exploiter une image acquise à l'aide de l'appareil électronique muni de l'accessoire amovible.

L'invention concerne en particulier le procédé, impliquant l'utilisation de l'accessoire amovible mentionné ci-dessus.

Selon l'invention, l'accessoire amovible comprend :

- 10 - un boîtier, recevant des moyens de dispersion en longueur d'onde et des moyens de redressement de faisceau pour compenser une déviation moyenne apportée par les moyens de dispersion en longueur d'onde ; et
- des moyens de fixation principaux, pour la fixation amovible à l'appareil électronique.

15

Une idée à la base de l'invention consiste à proposer un accessoire à installer sur un appareil électronique tel qu'un téléphone portable ou une tablette numérique, pour former un appareil de spectrométrie.

L'appareil électronique ne fait pas partie intégrante de l'accessoire amovible selon l'invention.

20

L'accessoire amovible permet ainsi de transformer en spectromètre n'importe quel appareil électronique tel qu'un téléphone portable ou une tablette numérique.

Pour cela, on exploite notamment le fait qu'une partie des éléments composant un appareil de spectrométrie se retrouvent dans les téléphones portables et tablettes numériques, notamment :

25

- le capteur multi-pixels photosensible, pour la détection de différentes contributions spectrales séparées spatialement ;
- les moyens de calcul, en particulier un processeur, pour l'exploitation des signaux détectés par le capteur multi-pixels photosensible ; et

- l'écran, notamment pour afficher des données relatives à un spectre lumineux calculé par les moyens de calcul.

Ces appareils électroniques sont largement répandus, notamment auprès du grand public, de sorte que l'investissement supplémentaire pour l'utilisateur se limite à l'achat de l'accessoire amovible selon l'invention.

L'utilisateur peut ainsi obtenir un appareil de spectrométrie pour un coût particulièrement réduit.

L'accessoire peut se limiter à trois fonctions basiques que sont la fixation à l'appareil électronique, la dispersion en longueur d'onde, et la compensation d'une déviation moyenne de faisceau apportée par la dispersion en longueur d'onde, de sorte qu'il présente un encombrement et un poids restreints, permettant une grande maniabilité et une grande portabilité.

La fixation de l'accessoire est amovible, de sorte qu'en dehors des instants précis d'utilisation de l'appareil électronique comme appareil de spectrométrie, l'appareil électronique peut conserver une forme compacte et un encombrement réduit, et la fonction caméra ou appareil photo de l'appareil électronique n'est pas perturbée.

De préférence, l'accessoire est dépourvu d'une source lumineuse, et adapté à la mesure du spectre lumineux d'un objet en éclairage naturel, ou la mesure du spectre lumineux d'un objet éclairé par une source lumineuse faisant partie intégrante de l'appareil électronique. L'accessoire amovible est alors dépourvu d'alimentation électrique, et forme un dispositif passif.

Le boîtier de l'accessoire amovible ne reçoit pas uniquement des moyens de dispersion en longueur d'onde, mais également des moyens dits de redressement, pour compenser une déviation moyenne de faisceau apportée par ces moyens de dispersion en longueur d'onde.

Les moyens de redressement sont configurés pour que la direction moyenne de propagation d'un faisceau lumineux, en sortie du boîtier, soit alignée avec la direction de propagation de ce faisceau, en amont des moyens de dispersion en longueur d'onde et des moyens de redressement. En d'autres termes, lesdits moyens de redressement sont configurés

pour qu'un axe de propagation d'un faisceau lumineux en entrée du boîtier et un axe de propagation de ce même faisceau lumineux, étalé spectralement, en sortie du boîtier, soient confondus.

5 Cette direction, ou cet axe, définit directement un axe de visée d'un objet dont on souhaite mesurer le spectre, ce qui facilite la visée de l'objet.

Cet axe de visée correspond avantageusement à l'axe longitudinal du boîtier.

De préférence, les moyens de dispersion en longueur d'onde comprennent au moins un réseau de diffraction et/ou au moins un prisme.

10 Les moyens de fixation principaux comprennent avantageusement :

- une paroi avant, à partir de laquelle s'étend le boîtier ;
- une paroi arrière espacée de la paroi avant ;
- un élément intercalaire, fixé d'un côté à la paroi avant et de l'autre à la paroi

15 arrière, pour maintenir la paroi avant et la paroi arrière solidaires l'une de l'autre de sorte qu'elles forment ensemble un guide configuré pour recevoir l'appareil électronique ;
et

- des moyens de serrage, configurés pour assurer le maintien mécanique de l'appareil électronique entre la paroi avant et la paroi arrière.

20 Le boîtier peut être configuré pour coulisser à l'intérieur d'un rail solidaire des moyens de fixation principaux, et comprendre des moyens de fixation secondaires configurés pour libérer ou bloquer le coulissement du boîtier à l'intérieur du rail.

L'invention concerne également un système comprenant :

- un appareil électronique muni d'un capteur multi-pixels photosensible, de moyens de calcul et d'un écran, tel qu'un téléphone portable ou une tablette numérique ;

25 et

- un accessoire amovible fixé à l'appareil électronique,

dans lequel l'accessoire amovible est un accessoire selon l'invention, fixé à l'appareil électronique grâce aux moyens de fixation principaux, boîtier recouvrant le capteur multi-

pixels photosensible de l'appareil électronique de sorte que le capteur multi-pixels photosensible reçoive un faisceau lumineux étalé spectralement.

5 Le procédé selon l'invention est mis en œuvre par les moyens de calcul de l'appareil électronique dudit système selon l'invention, et comprend les étapes suivantes :

- réception d'une image, fournie par le capteur multi-pixels photosensible ;
- traitement de l'image, à l'aide de données d'étalonnage en longueur d'onde et de données d'étalonnage en intensité, pour obtenir un spectre lumineux.

10 Le procédé est mis en œuvre à l'aide d'un système selon l'invention dans lequel le capteur multi-pixels photosensible est un capteur couleur, et comprend une étape préliminaire de détermination des données d'étalonnage en longueur d'onde, cette étape préliminaire comprenant une étape d'ajustement qui elle-même comprend les sous-étapes suivantes :

- 15
- réception d'une image d'ajustement fournie par le capteur multi-pixels photosensible ;
 - recherche, sur l'image d'ajustement, d'une région dans laquelle une différence d'intensité lumineuse, mesurée sur deux pixels voisins associés chacun à la détection d'une longueur d'onde différente, est minimale ;
- 20
- à partir d'une comparaison entre des premières données d'étalonnage en longueur d'onde, et la position de ladite région sur l'image d'ajustement, détermination de secondes données d'étalonnage en longueur d'onde, ladite région étant associée à une longueur d'onde dite d'ajustement.

25 Avantageusement, le procédé est alors mis en œuvre à l'aide d'un système selon l'invention dans lequel le capteur multi-pixels photosensible est un capteur dit RGB, comprenant un premier type de pixels dédiés à la détection du rouge, un deuxième type de pixels dédiés à la détection du vert, et un troisième type de pixels dédiés à la détection du bleu, et :

- la recherche sur l'image d'ajustement comprend la recherche d'une région dans laquelle une différence d'intensité lumineuse, mesurée sur un pixel dédié à la détection du rouge et sur un pixel dédié à la détection du vert, est minimale ; et
- la longueur d'onde d'ajustement est comprise entre 570 nm et 590 nm.

5

De préférence, l'étape préliminaire de détermination des données d'étalonnage en longueur d'onde comprend également une étape de détermination desdites premières données d'étalonnage en longueur d'onde, comprenant les sous-étapes suivantes :

- réception d'une image d'étalonnage en longueur d'onde, fournie par le capteur multi-pixels photosensible, associée à une source lumineuse dite de référence, et comprenant au moins trois raies lumineuses ou trois points lumineux ;
- pour chaque raie ou point, mise en correspondance d'une longueur d'onde prédéterminée et d'une position de la raie lumineuse ou du point lumineux sur l'image d'étalonnage et sur le capteur multi-pixels photosensible ;
- à partir des couples associant une longueur d'onde prédéterminée et une position sur le capteur multi-pixels photosensible, calcul de premières données d'étalonnage en longueur d'onde.

10

15

20

25

Le procédé selon l'invention peut comprendre en outre une étape préliminaire de détermination des données d'étalonnage en intensité, la détermination des données d'étalonnage en intensité comprenant les sous-étapes suivantes :

- réception d'une image d'étalonnage en intensité, fournie par le capteur multi-pixels photosensible, et associée à une source lumineuse de type corps noir ;
- comparaison entre l'image d'étalonnage en intensité, et un spectre de référence formé par le spectre lumineux du rayonnement solaire terrestre, pour obtenir les données d'étalonnage en intensité.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés parmi lesquels :

- 5 - la figure 1 illustre, de manière schématique, un premier mode de réalisation d'un accessoire amovible selon l'invention ;
- la figure 2 illustre, selon une vue en perspective, l'accessoire amovible représenté schématiquement en figure 1 ;
- la figure 3 illustre l'accessoire de la figure 2, selon une vue de côté ;
- 10 - la figure 4 illustre, selon une vue en éclaté, certains éléments de l'accessoire de la figure 2 ;
- la figure 5 illustre l'accessoire de la figure 2, selon une vue de devant ;
- la figure 6 illustre, selon une vue de côté, l'accessoire de la figure 2 monté sur un appareil électronique pour former un système selon l'invention ;
- 15 - les figures 7A et 7B illustrent un deuxième mode de réalisation d'un accessoire amovible selon l'invention ;
- les figures 8 et 9 illustrent respectivement un troisième et un quatrième modes de réalisation d'un accessoire amovible selon l'invention, incluant une source lumineuse ;
- la figure 10 illustre de façon schématique des étapes du procédé selon l'invention ; et
- 20 - les figures 11 et 12 illustrent de façon schématique des affichages proposés à un utilisateur, lors de l'étalonnage en longueur d'onde selon l'invention, d'un spectromètre formé par un accessoire amovible selon l'invention, monté sur un appareil électronique.

25 EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

La figure 1 illustre, de manière schématique, un premier mode de réalisation d'un accessoire amovible 100 selon l'invention.

Afin de faciliter la compréhension de la figure 1, les règles de la perspective ne sont pas respectées, l'accessoire amovible dans son ensemble étant représenté selon une vue de côté, et certains de ses éléments étant représentés en perspective.

5 L'accessoire amovible comprend un boîtier 110, représenté en traits mixtes, et des moyens de fixation principaux 120, représentés par des surfaces hachurées.

Les moyens de fixation principaux 120 sont configurés pour permettre de fixer l'accessoire 100, de façon amovible, à un appareil électronique nomade tel qu'un téléphone intelligent (smartphone) ou une tablette numérique.

10 Un exemple de réalisation des moyens de fixation principaux 120 est décrit en détail dans la suite.

Le boîtier 110 est formé dans un matériau opaque.

Il présente par exemple, et de manière non limitative, une forme de cylindre de révolution.

L'une des extrémités du cylindre est fixée aux moyens de fixation principaux 120.

15 A cette extrémité, le cylindre est ouvert sur une large section, pour laisser passer des rayons lumineux.

L'autre extrémité du cylindre, du côté opposé aux moyens de fixation principaux 120, est fermée par une paroi 111 munie d'une fente 112.

Sur la figure 1, la paroi 111 est représentée en perspective.

20 La paroi 111 ferme le cylindre de façon hermétique à la lumière, excepté au niveau de la fente 112.

La fente 112 présente une largeur bien supérieure à sa hauteur. Elle forme une fente d'entrée de la lumière à l'intérieur du boîtier 110, ou fente source.

25 A l'intérieur du boîtier 110, s'étendent une lentille de collimation 113, un réseau de diffraction en transmission 114 et un prisme 115.

La lentille de collimation 113 est disposée du côté de la fente source 112, entre la fente source 112 et le réseau de diffraction 114. Elle collimate un faisceau lumineux ayant traversé la fente 112, de sorte que ses rayons lumineux arrivent sur le réseau de diffraction 114 parallèles entre eux.

De préférence, la lentille de collimation s'étend selon toute la section interne du boîtier 110.

Le réseau de diffraction 114 permet de réaliser une dispersion en longueur d'onde du faisceau lumineux ayant traversé la fente 112, puis la lentille de collimation 113. Il forme
5 donc des moyens de dispersion en longueur d'onde, pour séparer spatialement les différentes composantes en longueur d'onde de ce faisceau lumineux.

Le réseau de diffraction 114 est gravé ici sur une face du prisme 115, les deux formant ensemble un grism.

Le réseau 114 est constitué de fentes parallèles entre elles, réparties de façon
10 régulière (pas constante), qui s'étendent ici parallèles à la fente 112.

Le prisme 115 est utilisé ici pour sa fonction de déviation d'un faisceau lumineux. Il forme des moyens de redressement de faisceau. Il permet de compenser une déviation moyenne induite par le réseau de diffraction 114, sur le faisceau lumineux ayant préalablement traversé la fente 112, puis la lentille de collimation 113.

En effet, le réseau de diffraction 114 dévie chaque composante spectrale d'un
15 faisceau lumineux incident, selon un angle qui dépend de la longueur d'onde de cette composante spectrale. En sortie du réseau de diffraction, les différentes composantes spectrales sont réparties autour d'une direction moyenne qui est inclinée relativement à la direction du faisceau lumineux incident. La direction moyenne est une position moyenne
20 des rayons lumineux en sortie du réseau de diffraction.

Grâce à la compensation apportée par le prisme 115, la direction moyenne de propagation du faisceau étalé spectralement, en sortie du boîtier, est alignée avec la direction de propagation de ce faisceau, en entrée du boîtier. En d'autres termes, l'axe de propagation moyen du faisceau étalé spectralement, en sortie du boîtier, est confondu
25 avec l'axe de propagation de ce faisceau, en entrée du boîtier.

Ces axes définissent ensemble une ligne de visée.

Grâce aux moyens de redressement, la ligne de visée est donc une ligne droite, et non une ligne brisée. Il est ainsi particulièrement facile pour l'utilisateur de viser un objet pour mesurer son spectre.

La ligne de visée correspond de préférence à l'axe longitudinal du boîtier, ici l'axe de symétrie du cylindre.

Lorsque l'accessoire amovible est monté sur un appareil électronique, le prisme 115 permet qu'un faisceau lumineux en sortie de l'accessoire amovible se propage selon une direction à peu près orthogonale au plan du capteur multi-pixels photosensible de l'appareil électronique (par exemple à +/- 3° près).

Le prisme 115 est disposé du côté du boîtier opposé à la fente source, et le réseau de diffraction 114 se trouve entre le prisme 115 et la lentille de collimation 113.

Sur la figure 1, le prisme 115 et le réseau 114 sont représentés en perspective.

On a également représenté en figure 1, de façon schématique, le faisceau lumineux qui traverse la fente 112 et la lentille de collimation 113, et le faisceau lumineux 200, étalé spectralement par les moyens 114 de dispersion en longueur d'onde et redressé par les moyens de redressage 115. Pour des raisons de lisibilité de la figure, ce faisceau étalé spectralement 200 est représenté en perspective.

Selon une variante non représentée, le réseau est formé sur une face de sortie du prisme, du côté opposé à la fente d'entrée 112. La compensation est alors mise en œuvre préalablement à la déviation moyenne par le réseau de diffraction.

De nombreuses autres variantes peuvent être mises en œuvre sans sortir du cadre de l'invention, dans lesquelles les moyens de dispersion en longueur d'onde comprennent un ou plusieurs réseau(x) de diffraction en transmission, et/ou un ou plusieurs réseau(x) de diffraction en réflexion, et/ou un ou plusieurs prisme(s) dispersif(s).

De la même façon, d'autres moyens de redressage peuvent être mis en œuvre, comprenant au moins un prisme, et/ou au moins un miroir.

Le boîtier 110 peut héberger, ou non, des optiques telles qu'une ou plusieurs lentilles de collimation.

La figure 2 illustre, selon une vue en perspective, l'accessoire amovible 100 représenté schématiquement en figure 1.

La figure 2 illustre en particulier les moyens de fixation principaux 120, et le boîtier 110 présentant ici une forme de tube fixé à l'une de ses extrémités aux moyens de fixation principaux 120.

5 Du côté opposé aux moyens de fixation principaux 120, le tube présente un cache 116 au centre duquel se trouve la fente d'entrée (non visible sur la figure 2).

Les moyens de fixation principaux 120 comprennent ici :

- une paroi avant 121, sur laquelle est fixé le boîtier 110 ;
- une paroi arrière 122, espacée de la paroi avant, et qui s'étend ici parallèle à celle-ci ; et
- 10 - un élément intercalaire 123, qui s'étend ici perpendiculaire aux parois avant et arrière, fixé d'un côté contre un bord de la paroi avant, et de l'autre côté contre un bord de la paroi arrière.

L'axe longitudinal du boîtier est orthogonal à la paroi avant 121.

15 La paroi avant 121, la paroi arrière 122, et l'élément intercalaire 123, forment ensemble un guide, configuré pour recevoir l'appareil électronique.

En particulier, l'appareil électronique est inséré entre la paroi avant 121 et la paroi arrière 122, de préférence jusqu'à venir en butée contre l'élément intercalaire.

Ici, la paroi avant 121 et la paroi arrière 122 sont parallèles entre elles.

20 Seule une portion d'extrémité de l'appareil électronique est insérée entre la paroi avant 121 et la paroi arrière 122, en particulier une portion recevant une fenêtre recouvrant un capteur multi-pixels photosensible de l'appareil électronique.

La figure 3 illustre l'accessoire de la figure 2, selon une vue de côté.

25 La distance D1 entre la paroi avant 121 et la paroi arrière 122 correspond sensiblement à l'épaisseur de l'appareil électronique.

Afin que les moyens de fixation principaux 120 puissent s'adapter à des appareils électroniques de différentes épaisseurs, la distance D1 est légèrement supérieure à une épaisseur maximale d'un tel appareil. La distance D1 est par exemple comprise entre 1 cm et 2 cm.

Des moyens de serrage permettent d'assurer le maintien de l'appareil électronique entre la paroi avant 121 et la paroi arrière 122.

Ici, les moyens de serrage sont constitués par deux vis 124 et deux trous filetés correspondant dans la paroi arrière 122.

5 Les trous filetés sont des trous traversant, de sorte que les extrémités respectives des deux vis 124 viennent en appui contre une surface de l'appareil électronique pour le plaquer contre la paroi avant 121, et le maintenir ainsi en position entre la paroi avant 121 et la paroi arrière 122.

10 L'invention n'est pas limitée à ces moyens de fixation principaux 120, et de nombreuses variantes peuvent être mises en œuvre sans sortir du cadre de la présente invention.

Par exemple, les vis et les trous filetés peuvent traverser la paroi avant, pour plaquer l'appareil électronique contre la paroi arrière 121, les parois avant et arrière étant fixes l'une relativement à l'autre.

15 En variante, la paroi avant et la paroi arrière peuvent être mobiles en translation l'une relativement à l'autre, pour adapter l'espace entre les deux en fonction de l'épaisseur de l'appareil électronique.

20 En variante, la paroi avant et la paroi arrière peuvent être inclinables l'une relativement à l'autre. Elles peuvent notamment être articulées ensemble à l'aide d'un ressort, pour former une pince de serrage.

25 En tout état de cause, l'accessoire amovible est configuré pour être fixé à l'appareil électronique, de sorte qu'un axe longitudinal du boîtier soit sensiblement orthogonal (par exemple à +/- 3° près) à une paroi de l'appareil électronique sur laquelle s'appuie le boîtier. L'ensemble formé par l'appareil électronique et l'accessoire amovible est alors particulièrement compact.

Les figures 4 et 5 illustrent une caractéristique avantageuse de l'accessoire amovible selon l'invention.

Pour cela, la paroi avant 121 est munie d'un rail 125 (voir figures 1 et 5), pour guider un déplacement en translation du boîtier 110 relativement aux moyens de fixation principaux 120.

5 Il est ainsi possible de positionner le boîtier 110 en face du capteur multi-pixels photosensible, quelles que soient les dimensions de l'appareil électronique et la position du capteur multi-pixels photosensible sur celui-ci (dans les limites de la course du boîtier sur son rail).

Ici, le rail 125 est formé par une ouverture traversante de forme oblongue, dans la paroi 121.

10 Le boîtier 110 est formé en deux parties. Une partie principale 110A, dans laquelle sont logés notamment les moyens de dispersion en longueur d'onde, et une bague 110B.

La partie principale 110A et la bague 110B sont représentées en figure 4, selon une vue en éclaté.

15 La bague 110B présente une partie cylindrique 110₁B, présentant un filetage sur sa surface externe, et une couronne 110₂B, de diamètre externe supérieur à celui de la partie cylindrique 110₁B.

20 La partie cylindrique 110₁B présente un diamètre externe légèrement inférieur à la largeur de l'ouverture oblongue formant le rail 125. La différence de diamètre est de préférence bien inférieure à 1 mm, par exemple inférieure à 0,2 mm. Ainsi, la partie cylindrique 110₁B peut se déplacer en translation à l'intérieur du rail 125, selon un axe parallèle à la direction d'allongement du rail (ici selon un axe parallèle à l'axe (z)).

Le filetage de la partie cylindrique 110₁B coopère avec un filetage formé à l'intérieur de la partie principale 110A du boîtier, pour solidariser la partie principale 110A et la bague 110B.

25 La couronne 110₂B présente un diamètre externe supérieur à celui de l'ouverture oblongue formant le rail 125.

En pratique, on insère la partie cylindrique 110₁B dans l'ouverture oblongue formant le rail 125, jusqu'à ce que la couronne 110₂B vienne en butée contre la paroi avant 121. On déplace ensuite la bague 110B le long du rail 125, pour la positionner à la hauteur voulue

le long du rail. Enfin, on visse la partie principale 110A sur la bague 110B, la partie principale 110A et la bague 110B étant disposées alors d'un côté et de l'autre de la paroi avant.

On peut ainsi positionner, fixer, le boîtier 110 à l'endroit voulu le long du rail 125, pour qu'il se trouve au regard du capteur multi-pixels photosensible lorsque l'accessoire amovible est monté sur un appareil électronique.

La bague 110B et le filetage à l'intérieur de la partie principale 110A forment ensemble des moyens de fixation secondaires, permettant de libérer et bloquer le coulissement du boîtier dans le rail 125.

A la figure 5, on a représenté l'accessoire amovible selon une vue de face. La double flèche symbolise le degré de liberté du boîtier 110 relativement à la paroi avant 121, lorsque la partie cylindrique 110₁B est insérée dans le rail 125 et que le vissage avec la partie principale 110A n'est pas serré.

La figure 6 illustre le système 1000 constitué par l'accessoire amovible 100, et par un appareil électronique 600 auquel fixé l'accessoire amovible 100.

La fixation est amovible, l'accessoire amovible 100 pouvant être monté sur l'appareil électronique lorsqu'un utilisateur souhaite l'utiliser, puis démonté.

L'appareil électronique 600 est par exemple un téléphone intelligent, ou une tablette numérique. Il peut également s'agir d'un appareil photo numérique.

Il s'agit d'un appareil électronique nomade, ou portable.

Il est muni d'un capteur multi-pixels photosensible 601, protégé par une fenêtre de protection.

L'appareil électronique comprend en particulier un capteur multi-pixels photosensible, c'est-à-dire un capteur sensible aux photons, et comprenant une pluralité de pixels, par exemple plus de 1000.

Le capteur multi-pixels photosensible 601 est de préférence un capteur matriciel, constitué d'une grille de N*M pixels, avec N et M des entiers strictement supérieurs à l'unité.

En variante, le capteur multi-pixels photosensible 601 peut être une simple barrette de pixels.

Le capteur multi-pixels photosensible 601 est ici un capteur couleur constitué de différents types de pixels, dédiés chacun à la détection d'une plage de longueurs d'onde prédéterminée. Il s'agit par exemple d'un capteur CMOS.

5 Le boîtier 110 de l'accessoire amovible est plaqué contre une paroi de l'appareil électronique, de manière à recouvrir entièrement ladite fenêtre de protection.

L'axe longitudinal du boîtier 110 est sensiblement orthogonal à la face de l'appareil électronique recevant cette fenêtre de protection (à +/- 3° près). Cet axe longitudinal est aligné avec la ligne de visée telle que définie ci-avant.

10 Ainsi, un faisceau lumineux, incident sur le boîtier selon un axe parallèle à l'axe longitudinal du boîtier, est étalé spectralement et forme une image sur le capteur multi-pixels photosensible 601.

Le faisceau lumineux étalé spectralement correspond avantageusement à une série d'images de la fente 112 réparties sur le capteur multi-pixels photosensible 601, de préférence selon l'axe de la largeur du capteur multi-pixels photosensible.

15 De préférence, le boîtier 110 présente un repère, pour orienter les traits du réseau de diffraction 114 (voir figure 1) parallèlement à l'axe de la hauteur H de l'appareil électronique 600, de sorte que le faisceau lumineux étalé spectralement s'étende selon l'axe de la largeur du capteur multi-pixels photosensible.

20 Par exemple, un trait 117 peut être gravé sur le cache 116 du boîtier 110, parallèle aux traits du réseau de diffraction 114. L'utilisateur peut ainsi, lorsqu'il visse la partie principale 110A avec la bague 110B, contrôler l'orientation finale des traits du réseau de diffraction 114.

Un tel repère est particulièrement avantageux lorsque la fente est difficilement visible depuis l'extérieur du boîtier.

25 L'appareil électronique 600 comprend également un processeur 602, recevant les images acquises par le capteur multi-pixels photosensible 601, et un écran 603.

L'écran 603 forme une interface homme machine, notamment pour l'affichage d'un spectre lumineux.

L'écran peut également permettre à un utilisateur de formuler des consignes à destination d'un logiciel de spectrométrie mis en œuvre au sein du processeur 602, et/ou d'afficher des résultats de calculs réalisés à l'aide de ce logiciel de spectrométrie.

5 On a illustré ici un accessoire amovible dans lequel les moyens de fixation principaux sont ajustables, et permettent de fixer le boîtier 110 à un appareil électronique, quelles que soient les dimensions de ce dernier (à l'intérieur d'une plage prédéterminée).

En variante, l'accessoire amovible peut être dédié à des dimensions spécifiques d'un appareil électronique. Les moyens de fixation principaux se présentent alors sous la forme d'une coque, spécifique à un modèle d'appareil électronique en particulier.

10 La coque est fixée au boîtier 110, par exemple de manière amovible, grâce à un premier anneau fileté solidaire de la coque, qui coopère avec un filetage complémentaire sur le boîtier 110.

En variante, la coque est fixée au boîtier 110 de manière permanente, le boîtier et la coque étant formés ensemble d'un seul tenant.

15 Les figures 7A et 7B illustrent un deuxième mode de réalisation d'un accessoire amovible 100' selon l'invention.

Ce deuxième mode de réalisation ne diffère du mode de réalisation précédemment décrit, qu'en ce que la fente est remplacée par une fibre optique 118 à petit cœur, dont le cœur fait office de trou source.

20 La fibre optique 118 s'étend à partir du cache 116, et recouvre en l'entourant une ouverture 112' formée dans le cache. Le diamètre de l'ouverture est supérieur à 200 μm .

25 La fibre optique 118 est une fibre souple, qui permet de transporter la lumière jusqu'au trou source, depuis une région déportée pouvant être difficile d'accès pour l'appareil électronique.

Le faisceau lumineux étalé spectralement correspond alors avantageusement à une série de points réparties sur le capteur multi-pixels photosensible 601, de préférence selon l'axe de la largeur du capteur multi-pixels photosensible.

30 Le repère pour orienter correctement les traits du réseau de diffraction est alors particulièrement avantageux.

Selon une autre variante non représentée, la fente est remplacée par un trou source, c'est-à-dire une ouverture circulaire de petite dimension formée dans un matériau opaque. Le diamètre du trou source est par exemple inférieur à 30 μm .

5 La figure 8 illustre un troisième mode de réalisation d'un accessoire amovible 100'' selon l'invention.

Selon ce mode de réalisation, l'accessoire amovible 100'' comprend en outre une source lumineuse 130.

10 Il peut s'agir d'une diode électroluminescente, pour éclairer un objet à l'aide d'un faisceau lumineux présentant des caractéristiques connues, notamment en longueur d'onde.

La source lumineuse 130 peut par exemple fournir un éclairage monochromatique à une longueur d'onde d'absorption d'un composant prédéterminé, pour détecter ensuite l'émission ou non, en réponse, d'un signal de fluorescence.

15 La source lumineuse 130 peut également fournir un éclairage en lumière blanche, ou tout autre type d'éclairage (infrarouge, ultraviolet, visible, etc.).

La source lumineuse 130 peut intégrer ses propres moyens d'alimentation électrique, pour être autonome en énergie.

20 En variante, la source lumineuse 130 peut être reliée à des moyens de connexion électrique filaires, pour le branchement à l'appareil électronique et l'alimentation électrique de la source lumineuse 130 par ce dernier.

25 Selon une variante non représentée, l'accessoire amovible 100'' comprend un support, pour y fixer de façon amovible une telle source lumineuse 130. On peut ainsi associer l'accessoire amovible à différentes sources lumineuses, en fonction d'une utilisation souhaitée.

La figure 9 illustre un quatrième mode de réalisation d'un accessoire amovible 100''' selon l'invention.

30 Pour faciliter la compréhension de ce quatrième mode de réalisation, l'accessoire amovible 100''' est représenté monté sur un appareil électronique 600.

Selon ce mode de réalisation, l'accessoire amovible 100'' est muni en outre d'un guide de lumière 140, qui s'étend d'une extrémité à l'autre du boîtier 110, en traversant le cas échéant la paroi avant 121.

5 Une première extrémité 141 du guide de lumière est configurée pour se placer au regard d'un flash photographique 604 de l'appareil électronique 600.

Une seconde extrémité 142 du guide de lumière est placée à l'extrémité du boîtier 110, du côté opposé aux moyens de fixation principaux.

Le guide de lumière 140 permet de guider des rayons lumineux émis par le flash photographique 604.

10 L'accessoire amovible 100'' peut comprendre des moyens de guidage et fixation, pour déplacer la première extrémité 141 du guide de lumière relativement au boîtier 110, et ainsi la positionner exactement au regard du flash photographique 604.

Ce quatrième mode de réalisation permet d'utiliser un flash photographique de l'appareil électronique, comme source lumineuse pour éclairer un objet ou une scène que
15 l'on souhaite analyser spectralement.

L'invention n'est pas limitée à ces exemples. En outre, de nombreux perfectionnements peuvent être apportés à l'accessoire amovible, par exemple en y fixant une cuvette qui se place devant la fente source ou le trou source, la cuvette pouvant notamment recevoir un liquide, ou en y fixant un diffuseur optique ou un filtre optique qui
20 se place devant la fente source ou le trou source.

On illustre ensuite un procédé mis en œuvre au sein du processeur de l'appareil électronique, lorsque l'appareil est équipé d'un accessoire amovible selon l'invention.

La figure 10 illustre des étapes de ce procédé, pour calculer un spectre lumineux.

25 Selon ce procédé, le processeur reçoit en entrée une image $I_m(O)$ acquise par le capteur multi-pixels photosensible de l'appareil électronique.

L'image $I_m(O)$ correspondant à un faisceau lumineux provenant d'un objet O, étalé spectralement (les différentes contributions en longueur d'onde de ce faisceau sont séparées spatialement).

En utilisant des données d'étalonnage en longueur d'onde $C(\lambda)$ et des données d'étalonnage en intensité $C(I)$, le processeur calcule un spectre lumineux $I_o(\lambda)$, c'est-à-dire une fonction donnant l'intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde.

Ce calcul forme une étape 101.

5 On peut calculer en particulier un spectre d'émission (par exemple un spectre de fluorescence, un spectre de luminescence, un spectre de corps noir, etc.), un spectre d'absorption, un spectre de transmission, et/ou un spectre de réflexion.

10 Les données d'étalonnage en longueur d'onde $C(\lambda)$ et les données d'étalonnage en intensité $C(I)$ sont avantageusement stockées dans une mémoire interne de l'appareil électronique.

En variante, elles sont stockées dans une mémoire déportée, accessible via le réseau internet grâce à des moyens de communication sans fil de l'appareil électronique.

15 Les données d'étalonnage en longueur d'onde $C(\lambda)$ relie une position sur le capteur multi-pixels photosensible et une valeur de longueur d'onde, pour une plage de longueurs d'onde prédéterminée. Dans toute la suite, une position désigne une position selon un axe correspondant à une direction d'étalement spectral d'un faisceau lumineux, en sortie de l'accessoire amovible. De préférence, cet axe est aligné avec l'axe de la largeur du capteur multi-pixels photosensible.

20 Les données d'étalonnage en intensité $C(I)$ relie une intensité lumineuse mesurée sur le capteur multi-pixels photosensible, et une valeur dite intrinsèque de l'intensité lumineuse, pour une plage de longueurs d'onde prédéterminée. La valeur intrinsèque de l'intensité lumineuse ne dépend pas d'une fonction de transfert optique de l'accessoire amovible et de l'appareil électronique.

25 Le calcul d'un spectre lumineux consiste donc à mettre en correspondance des régions illuminées de l'image $Im(O)$ avec des longueurs d'onde, et des intensités lumineuses sur ces régions avec des intensités intrinsèques.

Le spectre lumineux calculé fournit donc les valeurs de longueur d'onde des différentes composantes spectrales d'un faisceau lumineux, et des valeurs d'intensité intrinsèque associées.

Il peut se présenter sous la forme d'un graphe dans lequel l'axe des abscisses correspond à la longueur d'onde, et l'axe des ordonnées correspond à l'intensité intrinsèque. Le processeur peut piloter l'affichage de ce graphe sur l'écran de l'appareil électronique.

5 Le processeur peut mettre en œuvre des traitements de données, pour exploiter le spectre lumineux ainsi calculé, par exemple une détection de maximum d'amplitude et de la longueur d'onde associée.

10 Les figures 11 et 12 illustrent chacune un exemple d'affichage proposé par l'écran de l'appareil électronique, lors d'une étape préliminaire de détermination des données d'étalonnage en longueur d'onde $C(\lambda)$, mise en œuvre avant l'étape de calcul d'un spectre lumineux à partir d'une image obtenue par le capteur multi-pixels photosensible.

La détermination des données d'étalonnage en longueur d'onde s'effectue en deux étapes :

- 15 - une première étape, mise en œuvre au moins lors de la première utilisation de l'accessoire amovible selon l'invention, pour déterminer des données dites premières données d'étalonnage en longueur d'onde (voir figure 11) ; et
- une étape d'ajustement, pour corriger si besoin les premières données d'étalonnage en longueur d'onde et obtenir des données dites secondes données d'étalonnage en longueur d'onde (voir figure 12).
- 20

Les données d'étalonnage en longueur d'onde $C(\lambda)$ sont donc constituées par les premières données d'étalonnage en longueur d'onde corrigées, nommées alors secondes données d'étalonnage en longueur d'onde.

25 Une première étape, pour déterminer les premières données d'étalonnage en longueur d'onde, comprend avantageusement les sous-étapes suivantes :

- Réception d'une image dite d'étalonnage en longueur d'onde, fournie par le capteur multi-pixels photosensible.

L'image d'étalonnage en longueur d'onde est obtenue à l'aide d'une source lumineuse de référence, dont le spectre d'émission est connu, et constitué d'un nombre fini de raies bien espacées les unes des autres.

5 Pour obtenir l'image d'étalonnage en longueur d'onde, l'entrée de l'accessoire amovible (fente source ou trou source ou extrémité de fibre optique) est orientée vers la source lumineuse de référence, et une image est acquise par le capteur multi-pixels photosensible.

La source lumineuse de référence est par exemple une lampe néon, ou une lampe fluo-compacte (lampe basse consommation, dans le langage courant).

10 Chaque raie est une raie d'émission, c'est-à-dire une raie colorée sur fond sombre.

Les raies peuvent être remplacées par des points, lorsqu'on a un trou source plutôt qu'une fente source. En outre, la forme d'une raie n'est pas forcément rectangulaire, mais est à l'image de l'ouverture d'entrée dans le boîtier de l'accessoire amovible.

15 • Pour chaque raie, mise en correspondance d'une longueur d'onde prédéterminée et d'une position de la raie sur l'image d'étalonnage en longueur d'onde.

Les longueurs d'onde prédéterminées sont les longueurs d'onde connues des raies du spectre d'émission de la source de référence.

20 Les raies sur l'image d'étalonnage en longueur d'onde sont disposées par ordre de longueur d'onde, ce qui permet d'effectuer facilement cette mise en correspondance.

Une position sur l'image d'étalonnage en longueur d'onde correspond à une position sur le capteur multi-pixels photosensible de l'appareil électronique, de sorte que l'on peut relier finalement chaque longueur d'onde prédéterminée et une position sur le capteur multi-pixels photosensible.

25 Cette mise en correspondance peut être effectuée par le processeur seul, par reconnaissance automatique de régions éclairées sur l'image d'étalonnage en longueur d'onde.

Selon une variante avantageuse, cette mise en correspondance peut faire intervenir l'utilisateur. Pour cela, l'écran de l'appareil électronique propose à l'utilisateur l'affichage de la figure 11. Cet affichage comprend une zone 1101 d'affichage de l'image d'étalonnage

30

en longueur d'onde, une zone 1102 d'affichage de longueur d'onde prédéterminées V1 à V4, et une zone 1103 d'affichage de données de consigne pour l'utilisateur. Dans la zone 1102, les longueurs d'onde prédéterminées sont disposées par ordre croissant de valeur de longueur d'onde, de gauche à droite. L'utilisateur est invité à sélectionner successivement chaque longueur d'onde prédéterminée, et à positionner un curseur 1104 sur la raie correspondante 1105_A, 1105_B, 1105_C ou 1105_D. Ainsi, le processeur peut mettre en correspondance une position sélectionnée du curseur 1104, et une longueur d'onde prédéterminée. La zone 1103 peut indiquer à l'utilisateur une couleur associée à chaque longueur d'onde prédéterminée.

Par exemple, pour une lampe de référence formée par une lampe fluo-compacte, le spectre d'émission comprend quatre raies principales, respectivement à V1=436 nm, V2=488 nm, V3=546 nm et V4=612 nm (une raie supplémentaire à 405 nm peut être considérée, selon les capacités de détection du capteur multi-pixels photosensible). On attribue donc la longueur d'onde V1 à la raie 1105_A la plus à gauche sur l'image d'étalonnage en longueur d'onde, la longueur d'onde V2 à la raie suivante 1105_B vers la droite, la longueur d'onde V3 à la raie suivante 1105_C vers la droite, et la longueur d'onde V4 à la raie suivante 1105_D vers la droite.

- Ensuite, on utilise les couples associant une longueur d'onde prédéterminée (V1, V2, V3, V4) et une position sur le capteur multi-pixels photosensible (position de la raie 1105_A, 1105_B, 1105_C, 1105_D), pour calculer les premières données d'étalonnage.

Les premières données d'étalonnage relient une position sur le capteur multi-pixels photosensible et une longueur d'onde, pour un intervalle continu de longueurs d'onde.

Le calcul comprend de préférence une interpolation, en particulier une interpolation linéaire des points définis par la série de couples, pour déterminer une dispersion en nm/pixel du capteur multi-pixels photosensible.

Ensuite, on ajuste ces premières données d'étalonnage, par exemple pour vérifier que l'accessoire amovible n'a pas bougé relativement au capteur multi-pixels photosensible (notamment après un certain temps d'utilisation ou après démontage et remontage de l'accessoire amovible sur l'appareil électronique).

L'étape d'ajustement peut donc être mise en œuvre plusieurs fois, à différents instants après une même étape de détermination des premières données de calibration en longueur d'onde.

5 Cette étape d'ajustement implique que le capteur multi-pixels photosensible de l'appareil électronique soit un capteur couleur, en particulier un capteur dit RGB constitué de pixels pour la détection du rouge (pixels R), de pixels pour la détection du vert (pixels G), et de pixels pour la détection du bleu (pixels B).

L'étape d'ajustement comprend avantageusement les sous-étapes suivantes :

10 • Réception d'une image d'ajustement fournie par le capteur multi-pixels photosensible.

De préférence, l'image d'ajustement est obtenue à l'aide d'une source directe de lumière blanche (par exemple le soleil ou une lampe halogène), ou indirecte c'est-à-dire une surface blanche éclairée par une telle source directe.

15 Pour obtenir l'image d'ajustement, l'entrée de l'accessoire amovible est orientée vers la source directe ou indirecte de lumière blanche, et une image est acquise par le capteur multi-pixels photosensible.

• Recherche, sur l'image d'ajustement, d'une région dans laquelle une différence d'intensité lumineuse entre un pixel R et un pixel G directement voisin est minimale.

20 En d'autres termes, le processeur recherche un macro-pixel détectant une même intensité lumineuse sur sa composante rouge et sur sa composante verte, un macro-pixel étant le motif élémentaire d'un capteur matriciel couleur.

Une même valeur de la composante rouge et de la composante verte correspond à une lumière jaune, à une longueur d'onde dite d'ajustement.

25 On repère ainsi la longueur d'onde d'ajustement, avec une incertitude de seulement 10 nm environ.

La longueur d'onde d'ajustement est comprise entre 570 nm et 590 nm, par exemple 580 nm.

Le processeur repère ainsi de façon automatique un couple associant une position sur le capteur multi-pixels photosensible, dite position d'intérêt, et une longueur d'onde, dite longueur d'onde d'ajustement.

- 5 • A partir des premières données d'étalonnage en longueur d'onde et de ce couple, le processeur calcule des secondes données d'étalonnage en longueur d'onde.

En particulier, le processeur peut comparer, de façon automatique, la position sur le capteur multi-pixels photosensible associée à la longueur d'onde d'ajustement d'après les premières données d'étalonnage en longueur d'onde, et la position précédemment par
10 comparaison des composantes rouge et verte.

S'il existe un décalage entre ces deux positions, le processeur calcule des données d'étalonnage corrigées, dites secondes données d'étalonnage en longueur d'onde. Ce calcul peut consister simplement à calculer ce décalage, et à translater de ce décalage les valeurs de position dans les premières données d'étalonnage en longueur d'onde, sans
15 modifier les valeurs de longueur d'onde correspondantes.

Si ce décalage est nul, le processeur détermine que les secondes données d'étalonnage sont égales aux premières données d'étalonnage.

Selon une variante avantageuse, cette sous étape peut faire intervenir l'utilisateur. Pour cela, l'écran de l'appareil électronique propose à l'utilisateur l'affichage de la figure
20 12. Cet affichage comprend une zone 1201 d'affichage des premières données d'étalonnage, et une zone 1203 d'affichage de données de consigne pour l'utilisateur. L'affichage des premières données d'étalonnage se présente par exemple sous la forme d'une simulation d'image acquise par le capteur multi-pixels photosensible et associée à une lumière blanche. La simulation d'image comprend un spectre 1206, reliant une position
25 sur le capteur multi-pixels photosensible et une couleur affichée dans la zone 1201 à la position correspondante.

Un curseur 1207 est affiché dans la zone 1201, pour indiquer la position d'intérêt déterminée par comparaison de composantes rouge et verte.

L'utilisateur est invité à déplacer ce curseur pour le placer sur la région jaune du spectre 1206. Le déplacement du curseur permet au processeur de calculer le décalage
30

entre la position sur le capteur multi-pixels photosensible associée à la longueur d'onde d'ajustement (et à la couleur jaune) d'après les premières données d'étalonnage, et la position d'intérêt déterminée par comparaison de composantes rouge et verte.

On a représenté en figure 12 une flèche 1208 symbolisant ce décalage.

5 D'autres variantes de cet ajustement peuvent être mises en œuvre, par exemple lorsque le capteur multi-pixels photosensible est un capteur couleur associé à des composantes élémentaires autres que R, G, et B, et donc composé de pixels autres que R, G, et B.

10 On définit alors une nouvelle valeur de la longueur d'onde d'ajustement, toujours associée à deux composantes élémentaires de même valeur.

Cet ajustement peut être mis en œuvre à partir de premières données d'étalonnage obtenues autrement que par l'exploitation d'un spectre de raies connu.

On décrit enfin une étape préliminaire de détermination des données d'étalonnage en intensité $I(\lambda)$.

15 Cette étape comprend avantageusement les sous-étapes suivantes :

- Réception d'une image d'étalonnage en intensité fournie par le capteur multi-pixels photosensible, et associée à une source lumineuse de type corps noir.

20 La source lumineuse de type corps noir est en particulier une source d'émission directe ou indirecte de rayonnements solaires (le soleil, ou une surface blanche éclairée par le soleil, notamment une feuille de papier, un tableau d'affichage, un mur, etc.).

Pour obtenir l'image d'étalonnage en intensité, l'entrée de l'accessoire amovible est orientée vers la source lumineuse de type corps noir, et une image est acquise par le capteur multi-pixels photosensible.

25 • Comparaison entre l'image d'étalonnage en intensité, et un spectre de référence, pour obtenir les données d'étalonnage en intensité.

Le spectre de référence est en particulier le spectre lumineux connu du rayonnement solaire terrestre.

30 On peut ainsi relier, pour chaque longueur d'onde, une valeur d'intensité mesurée par le capteur multi-pixels photosensible, et une valeur d'intensité intrinsèque qui ne

dépend pas des moyens de détection utilisés (ces moyens comprenant notamment l'accessoire amovible, et la chaîne d'acquisition d'image de l'appareil électronique). En d'autres termes, l'étalonnage en intensité intègre la réponse du capteur (ici l'accessoire amovible et l'appareil électronique).

5 Les étapes préliminaires d'étalonnage en longueur d'onde, respectivement en intensité, ne nécessitent pas l'utilisation d'étalons ou de sources lumineuses onéreuses.

Le système selon l'invention peut donc être calibré de façon particulièrement simple et rapide.

10 L'invention permet d'exploiter l'intelligence embarquée de l'appareil électronique, lorsqu'il est couplé à l'accessoire amovible selon l'invention, pour mesurer, traiter, enregistrer et/ou exploiter un spectre de lumière, pour des applications techniques ou du quotidien.

Ces applications impliquent une mesure précise d'un spectre de lumière ou d'une longueur d'onde. Parmi ces applications, on peut citer par exemple :

- 15 - Contrôle de sécurité de sources lumineuses (lampe de bronzage, jouet pour enfant, etc.) ;
- Mesure colorimétrique de prothèse dentaire ;
- Mesure colorimétrique d'un élément de décoration, d'un vêtement ou accessoire de mode, d'un maquillage, etc., pour vérifier que la couleur
- 20 correspond bien à ce qui est recherché ;
- Diagnostic de sources de lumière (mesure de la température de couleur d'un éclairage) ;
- Mesure et/ou détection de composé chimique, basée(s) sur un réactif colorimétrique (détection d'allergène dans la nourriture, détection de polluant,
- 25 détection de virus ou bactérie, mesure de pH, détection de maladie notamment la méningite, etc.) ;
- Démonstration à visée éducative ;
- Mesure rapide de la réponse spectrale d'un filtre optique ou d'un miroir optique ;
- 30 - Identification de gemmes, pierres précieuses et semi-précieuses ;

- Traçabilité et authentification d'encres spéciales (authentification de spiritueux, œuvres d'art, billets de banque, etc.).

5 Ces différentes applications peuvent utiliser une base de données embarquée sur l'appareil électronique, ou déportée et accessible grâce à des moyens de communication sans fil dont est muni l'appareil électronique.

La base de données comprend par exemple une bibliothèque de spectres de référence, pour identifier, par comparaisons, des gemmes, pierres précieuses et semi-précieuses.

10 On peut également exploiter des moyens de communication sans fil de l'appareil électronique pour des envois de résultats et mesures, notamment via le réseau internet.

L'invention n'est pas limitée aux exemples cités, et de nombreuses variantes peuvent être mises en œuvre sans sortir du cadre de l'invention, que ces variantes concernent la structure de l'accessoire amovible, ou le procédé mis en œuvre pour l'utilisation de cet
15 accessoire amovible.

REVENDICATIONS

1. Procédé mis en œuvre dans un système (1000) comprenant :

- un appareil électronique (600) muni d'un capteur multi-pixels photosensible (601), de moyens de calcul (602) et d'un écran (603), tel qu'un téléphone portable ou une
5 tablette numérique ; et
- un accessoire amovible (100 ; 100' ; 100'' ; 100''') comprenant :
 - un boîtier (110), recevant des moyens de dispersion en longueur d'onde
(114) et des moyens (115) de redressement de faisceau pour compenser
10 une déviation moyenne apportée par les moyens de dispersion en
longueur d'onde (114); et
 - des moyens de fixation principaux (120), pour la fixation amovible à
l'appareil électronique ;

l'accessoire amovible étant fixé à l'appareil électronique (600) grâce aux moyens de fixation
principaux (120), et le boîtier (110) de l'accessoire amovible recouvrant le capteur multi-
15 pixels photosensible (601) de l'appareil électronique de sorte que le capteur multi-pixels
photosensible (601) reçoive un faisceau lumineux étalé spectralement, le procédé étant
mis en œuvre par les moyens de calcul (602) de l'appareil électronique (600) et comprenant
des étapes de :

- réception d'une image ($I_m(O)$) fournie par le capteur multi-pixels photosensible
20 (601) ;
- traitement de l'image, à l'aide de données d'étalonnage en longueur d'onde ($C(\lambda)$)
et de données d'étalonnage en intensité ($C(I)$), pour obtenir un spectre lumineux
($I_o(\lambda)$) ;

caractérisé en ce que le capteur multi-pixels photosensible (600) est un capteur couleur, et
25 en ce que le procédé comprend une étape préliminaire d'ajustement de premières
données d'étalonnage en longueur d'onde, comprenant les sous-étapes suivantes :

- réception d'une image d'ajustement fournie par le capteur multi-pixels
photosensible (601) ;

- recherche, sur l'image d'ajustement, d'une région (1207) dans laquelle une différence d'intensité lumineuse, mesurée sur deux pixels voisins associés chacun à la détection d'une longueur d'onde différente, est minimale ;
- à partir d'une comparaison entre lesdites premières données d'étalonnage en longueur d'onde, et la position de ladite région (1207) sur l'image d'ajustement, 5 détermination de secondes données d'étalonnage en longueur d'onde, ladite région étant associée à une longueur d'onde dite d'ajustement.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le capteur multi-pixels photosensible (600) est un capteur dit RGB, comprenant un premier type de pixels dédiés 10 à la détection du rouge, un deuxième type de pixels dédiés à la détection du vert, et un troisième type de pixels dédiés à la détection du bleu, et en ce que :

- la recherche sur l'image d'ajustement comprend la recherche d'une région (1207) dans laquelle une différence d'intensité lumineuse, mesurée sur un pixel dédié à la 15 détection du rouge et sur un pixel dédié à la détection du vert, est minimale ; et
- la longueur d'onde d'ajustement est comprise entre 570 nm et 590 nm.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'image d'ajustement est une image d'une source de lumière blanche, ou une image d'une surface éclairée par 20 une source de lumière blanche.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la détermination des secondes données d'étalonnage en longueur d'onde comprend :

- le calcul d'un décalage entre une position associée à la longueur d'onde 25 d'ajustement, sur le capteur multi-pixels photosensible (600), d'après les premières données d'étalonnage en longueur d'onde, et la position de ladite région (1207) ;
et

- la translation des valeurs de position sur le capteur multi-pixels photosensible, dans les premières données d'étalonnage, et sans modifier les valeurs correspondantes de longueur d'onde, d'une valeur égale au décalage calculé.

5 **5.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape préliminaire de détermination desdites premières données d'étalonnage en longueur d'onde, comprenant les sous-étapes suivantes :

- réception d'une image d'étalonnage en longueur d'onde, fournie par le capteur multi-pixels photosensible, associée à une source lumineuse dite de référence, et
10 comprenant au moins trois raies lumineuses (1105_A, 11105_B, 1105_C, 1105_D) ou trois points lumineux ;
- pour chaque raie ou point, mise en correspondance d'une longueur d'onde prédéterminée (V1, V2, V3, V4) et d'une position de la raie lumineuse ou du point lumineux sur l'image d'étalonnage et sur le capteur multi-pixels photosensible ;
- 15 - à partir des couples associant une longueur d'onde prédéterminée et une position sur le capteur multi-pixels photosensible, calcul des premières données d'étalonnage en longueur d'onde.

20 **6.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape préliminaire de détermination des données d'étalonnage en intensité (C(I)), la détermination des données d'étalonnage en intensité comprenant les sous-étapes suivantes :

- réception d'une image d'étalonnage en intensité, fournie par le capteur multi-pixels photosensible (601), et associée à une source lumineuse de type corps noir ;
- 25 - comparaison entre l'image d'étalonnage en intensité, et un spectre de référence formé par le spectre lumineux du rayonnement solaire terrestre, pour obtenir les données d'étalonnage en intensité (C(I)).

- 7.** Accessoire amovible (100 ; 100' ; 100'' ; 100''') pour un appareil électronique (600) muni d'un capteur multi-pixels photosensible, de moyens de calcul et d'un écran, tel qu'un téléphone portable ou une tablette numérique, caractérisé en ce qu'il comprend :
- un boîtier (110), recevant des moyens de dispersion en longueur d'onde (114) et des moyens (115) de redressage de faisceau pour compenser une déviation moyenne apportée par les moyens de dispersion en longueur d'onde (114); et
 - des moyens de fixation principaux (120), pour la fixation amovible à l'appareil électronique.
- 8.** Accessoire (100 ; 100' ; 100'' ; 100''') selon la revendication 7, caractérisé en ce que les moyens de dispersion en longueur d'onde (114) comprennent au moins un réseau de diffraction et/ou au moins un prisme.
- 9.** Accessoire (100 ; 100' ; 100'' ; 100''') selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce que les moyens de fixation principaux (120) comprennent :
- une paroi avant (121), à partir de laquelle s'étend le boîtier (110) ;
 - une paroi arrière (122) espacée de la paroi avant ;
 - un élément intercalaire (123), fixé d'un côté à la paroi avant (121) et de l'autre à la paroi arrière (122), pour maintenir la paroi avant et la paroi arrière solidaires l'une de l'autre de sorte qu'elles forment ensemble un guide configuré pour recevoir l'appareil électronique ; et
 - des moyens de serrage (124), configurés pour assurer le maintien mécanique de l'appareil électronique entre la paroi avant (121) et la paroi arrière (122).
- 10.** Accessoire (100 ; 100' ; 100'' ; 100''') selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, caractérisé en ce que le boîtier (110) est configuré pour coulisser à l'intérieur d'un rail (125) solidaire des moyens de fixation principaux (120), et en ce qu'il comprend des moyens de fixation secondaires (110B) configurés pour libérer ou bloquer le coulissement du boîtier (110) à l'intérieur du rail (125).

11. Système (1000) comprenant :

- un appareil électronique (600) muni d'un capteur multi-pixels photosensible (601), de moyens de calcul (602) et d'un écran (603), tel qu'un téléphone portable ou une
- 5 tablette numérique ; et
- un accessoire amovible (100 ; 100' ; 100'' ; 100''') fixé à l'appareil électronique (600),

caractérisé en ce que l'accessoire amovible (100 ; 100' ; 100'' ; 100''') est un accessoire selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, en ce qu'il est fixé à l'appareil électronique (600) grâce aux moyens de fixation principaux (120), et en ce que le boîtier

10 (110) recouvre le capteur multi-pixels photosensible (601) de l'appareil électronique de sorte que le capteur multi-pixels photosensible (601) reçoive un faisceau lumineux étalé spectralement.

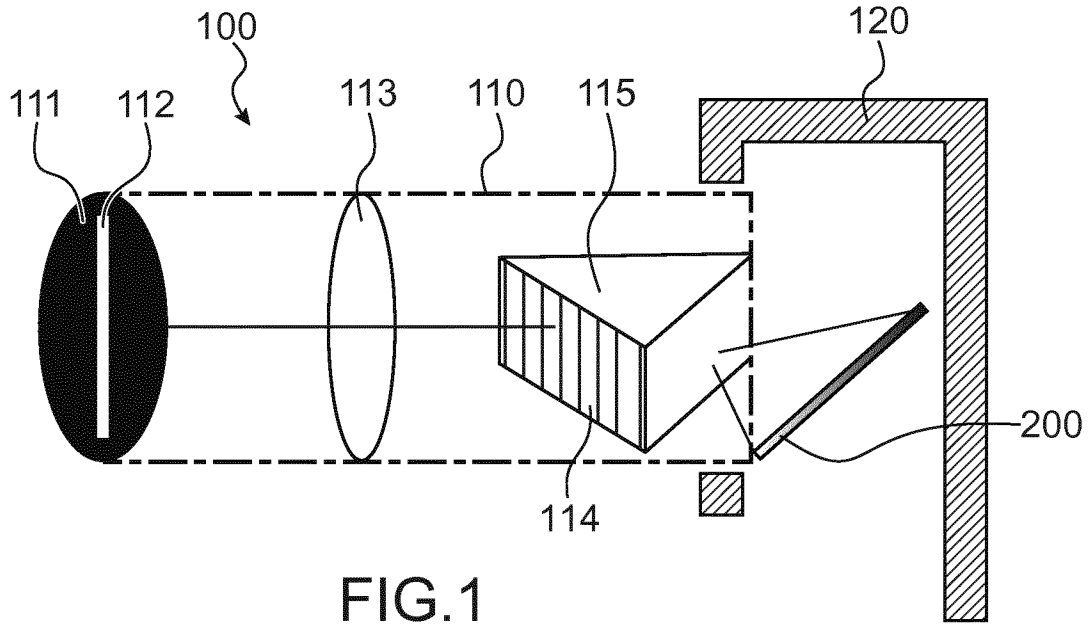


FIG. 1

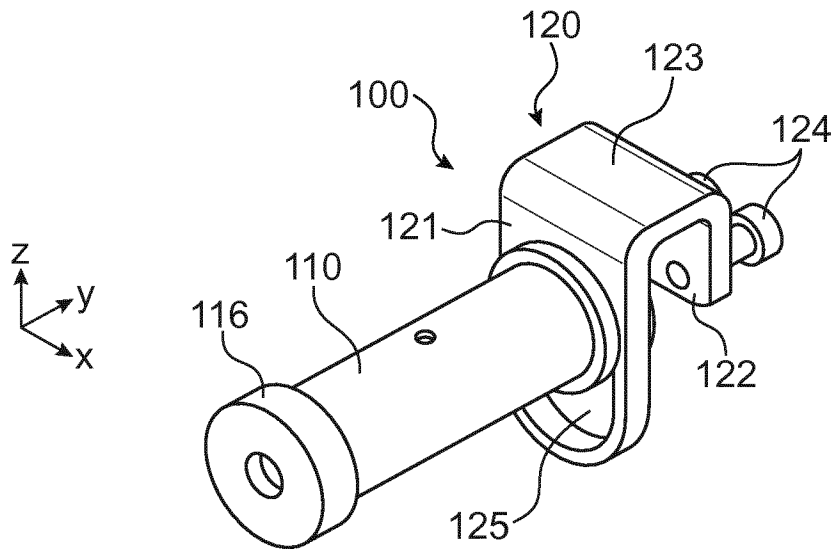
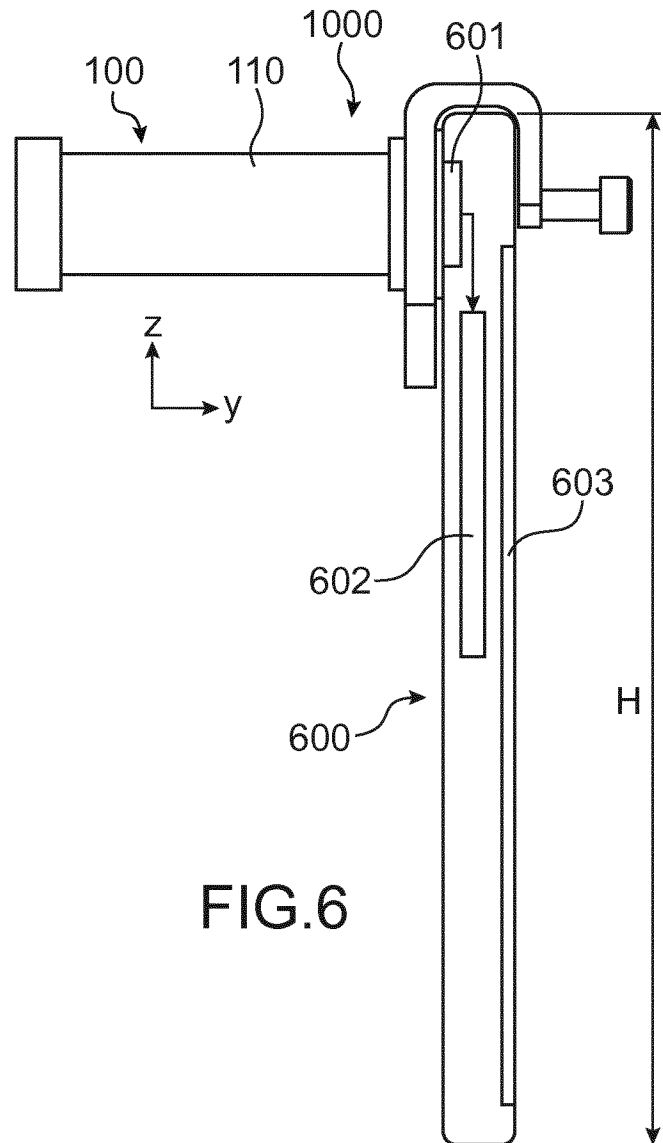
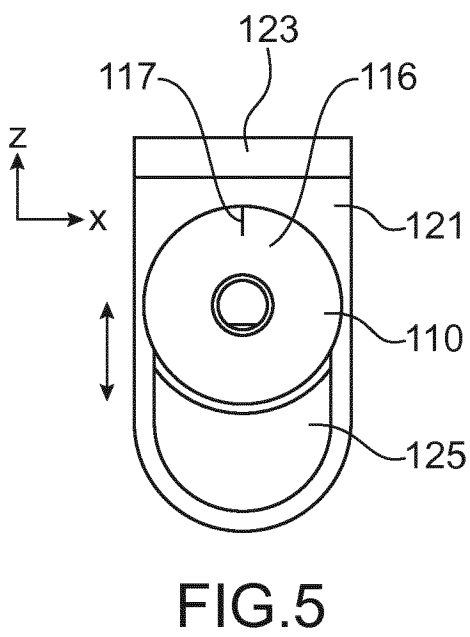
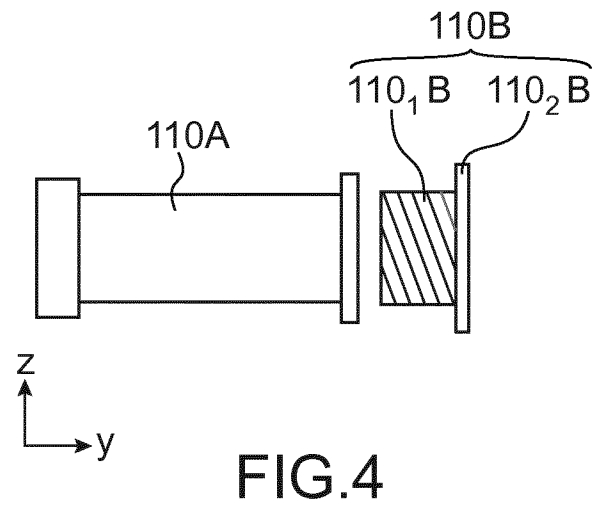
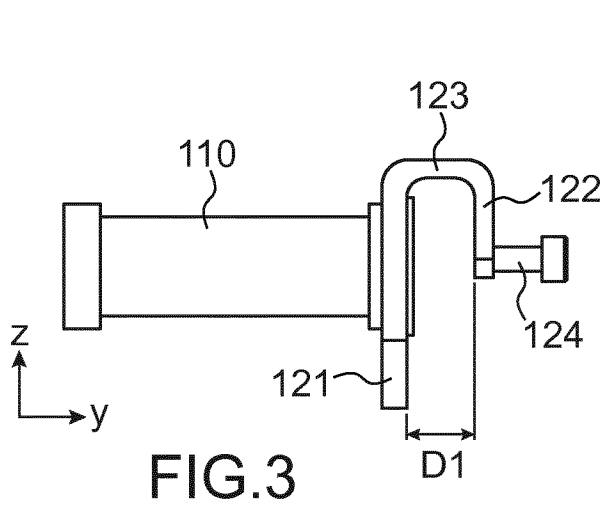
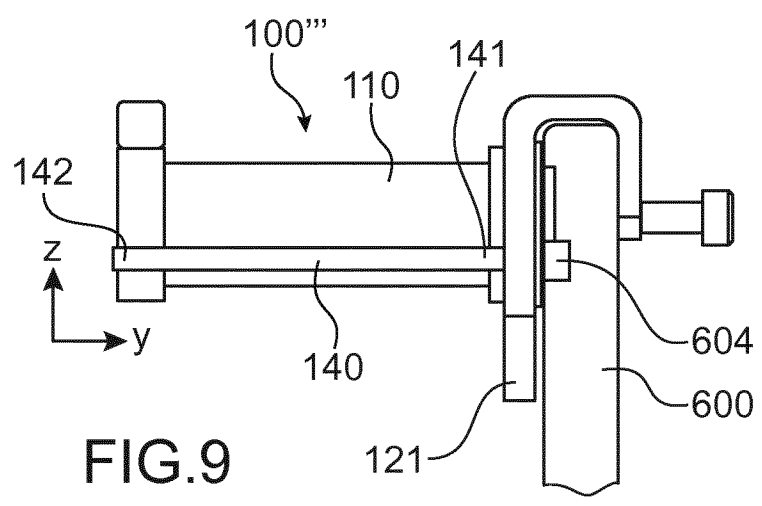
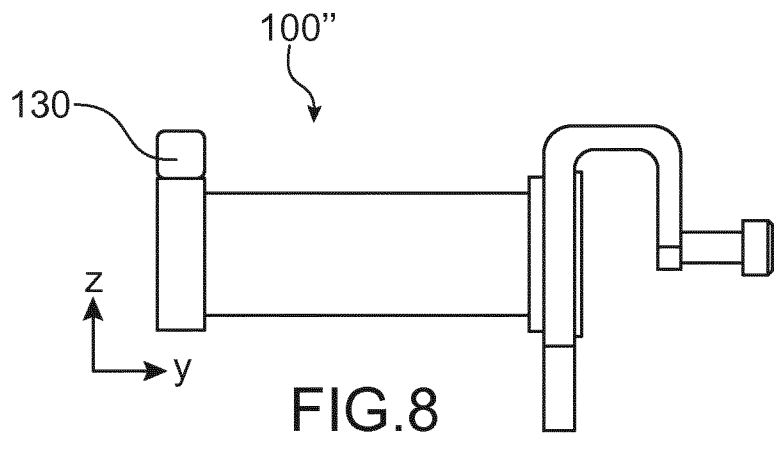
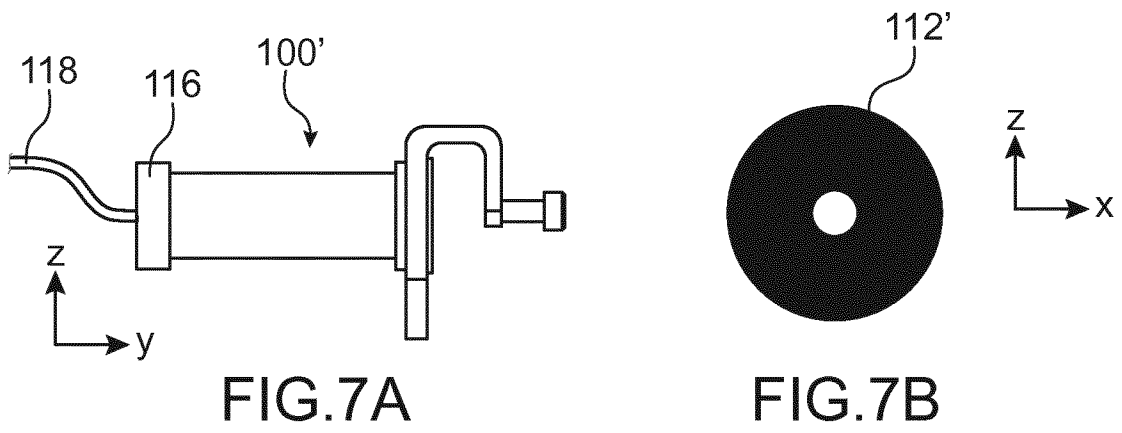


FIG. 2





4/4

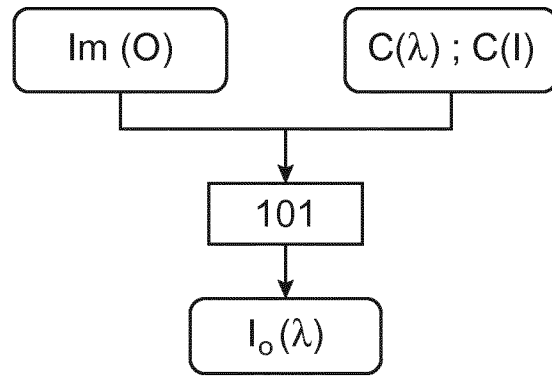


FIG.10

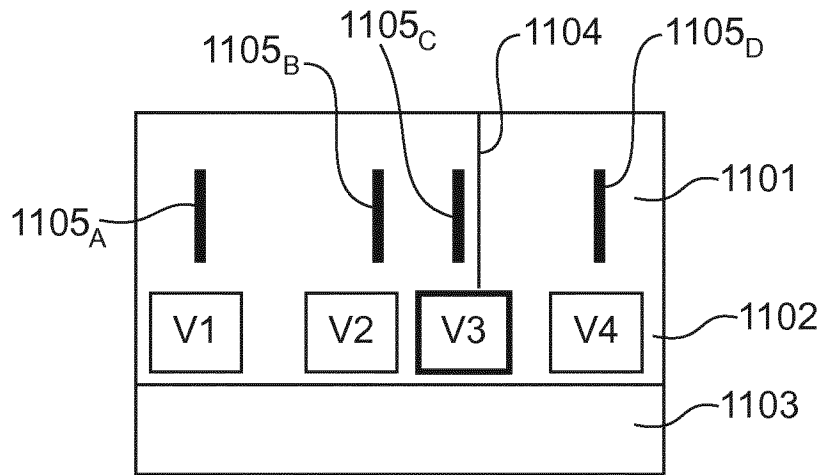


FIG.11

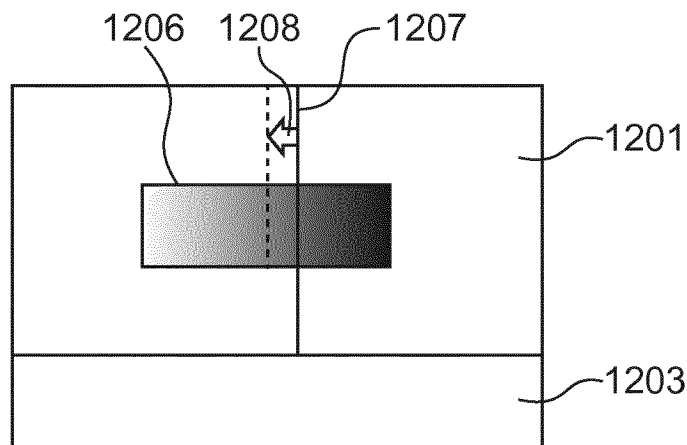


FIG.12