



Office de la Propriété

Intellectuelle  
du Canada

Un organisme  
d'Industrie Canada

Canadian  
Intellectual Property  
Office

An agency of  
Industry Canada

CA 2712968 A1 2009/07/30

(21) **2 712 968**

(12) **DEMANDE DE BREVET CANADIEN**  
**CANADIAN PATENT APPLICATION**

(13) **A1**

(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2008/01/23  
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2009/07/30  
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2010/07/22  
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2008/000081  
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2009/092868

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01J 3/02* (2006.01),  
*G01J 3/51* (2006.01)

(71) Demandeur/Applicant:  
IJINA, FR

(72) Inventeurs/Inventors:  
FILLOL, BERNARD, FR;  
GREMILLET, PHILIPPE, FR;  
MAGAIN, JEAN-MARIE, FR;  
TRETOUT, JEAN, FR;  
WEIMANN, FREDERIC, FR

(74) Agent: BERESKIN & PARR LLP/S.E.N.C.R.L.,S.R.L.

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCEDE DE MESURE SPATIO-COLORIMETRIQUE D'UN OBJET TRIDIMENSIONNEL  
(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR THE SPACE-COLORIMETRIC MEASUREMENT OF A THREE-DIMENSIONAL  
OBJECT

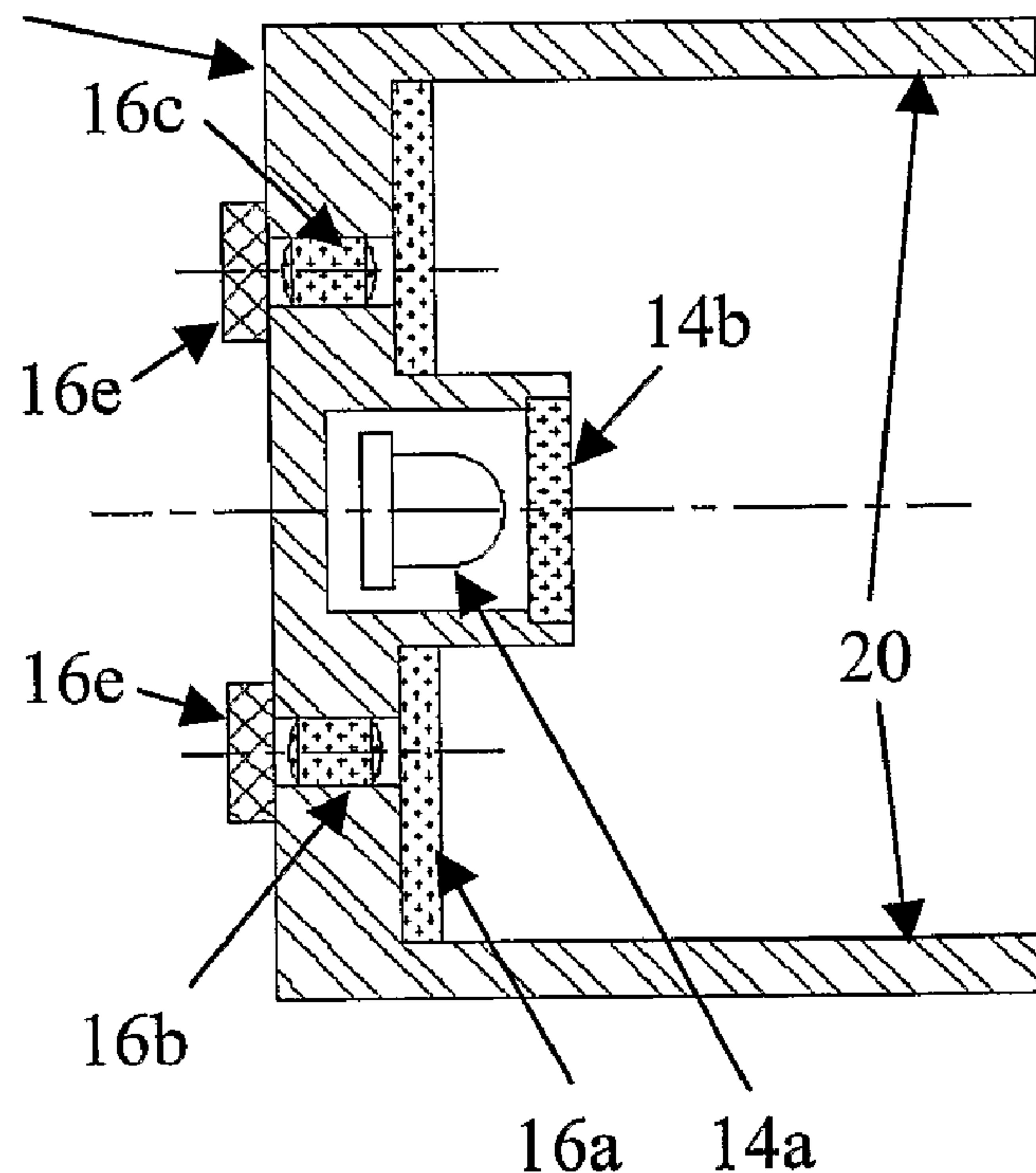
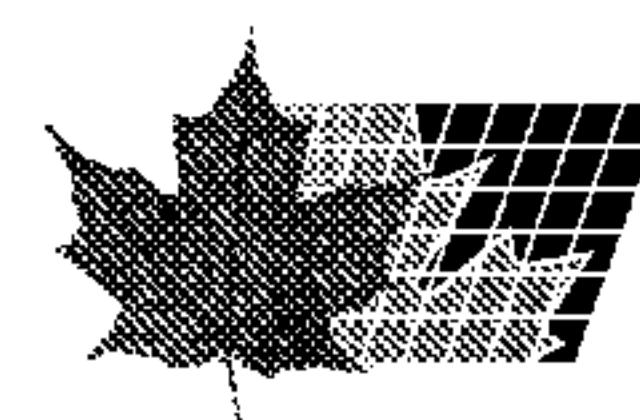


Figure 3b

(57) Abrégé/Abstract:

La présente invention vise un dispositif et un procédé de mesure spatio-colorimétrique d'un objet tridimensionnel permettant de modéliser numériquement les bas reliefs et les coordonnées colorimétriques de cet objet selon une multitude de points d'analyse.



**(57) Abrégé(suite)/Abstract(continued):**

Pour ce faire, le dispositif de mesure selon l'invention propose de combiner des moyens d'éclairage avec au moins quatre moyens de détection optiques, dont au moins deux moyens de détection jumeaux sensibles à des plages de longueurs d'onde lumineuse sensiblement identiques, de façon à déterminer, par effet stéréoscopique, le bas relief de l'objet analysé. | ce titre l'invention propose un dispositif de mesure spatio-colorimétrique d'un objet (2) tridimensionnel comportant une tête de détection (4) constituée de moyens d'éclairage (14) de l'objet et d'au moins quatre moyens de détection (16) de la lumière-réfléchie-par-l+objet (2), le-dispositif-comportant en outre une unité de traitement 8 des informations reçues par les moyens de détection (16). Au moins deux moyens de détection jumeaux (16c, 16e) sont sensibles à des plages de longueurs d'onde lumineuse sensiblement identiques.

**(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  
30 juillet 2009 (30.07.2009)**

**PCT**

**(10) Numéro de publication internationale  
WO 2009/092868 A1**

**(51) Classification internationale des brevets :**  
**G01J 3/02 (2006.01) G01J 3/51 (2006.01)**

**(21) Numéro de la demande internationale :**  
**PCT/FR2008/000081**

**(22) Date de dépôt international :**  
**23 janvier 2008 (23.01.2008)**

**(25) Langue de dépôt :**  
**français**

**(26) Langue de publication :**  
**français**

**(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :** **IJINA** [FR/FR]; SITE BIOCITECH, 102 Route de Noisy, F-93230 Romainville (FR).

**(72) Inventeurs; et**

**(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :** **FIL-  
LOL, Bernard** [FR/FR]; 126, rue du Montparnasse,

F-75014 Paris (FR). **GREMILLET, Philippe** [FR/FR]; 15 Domaine de Geville, F-91450 Soisy Sur Seine (FR). **MA-  
GAIN, Jean-Marie** [FR/FR]; 1 rue des Forges, F-60340 Saint leu (FR). **TRETOUT, Jean** [FR/FR]; 46, rue Victor Hugo, F-60160 Montataire (FR). **WEIMANN, Frédéric** [FR/FR]; 9 route de Saint Léonard, F-60300 Senlis (FR).

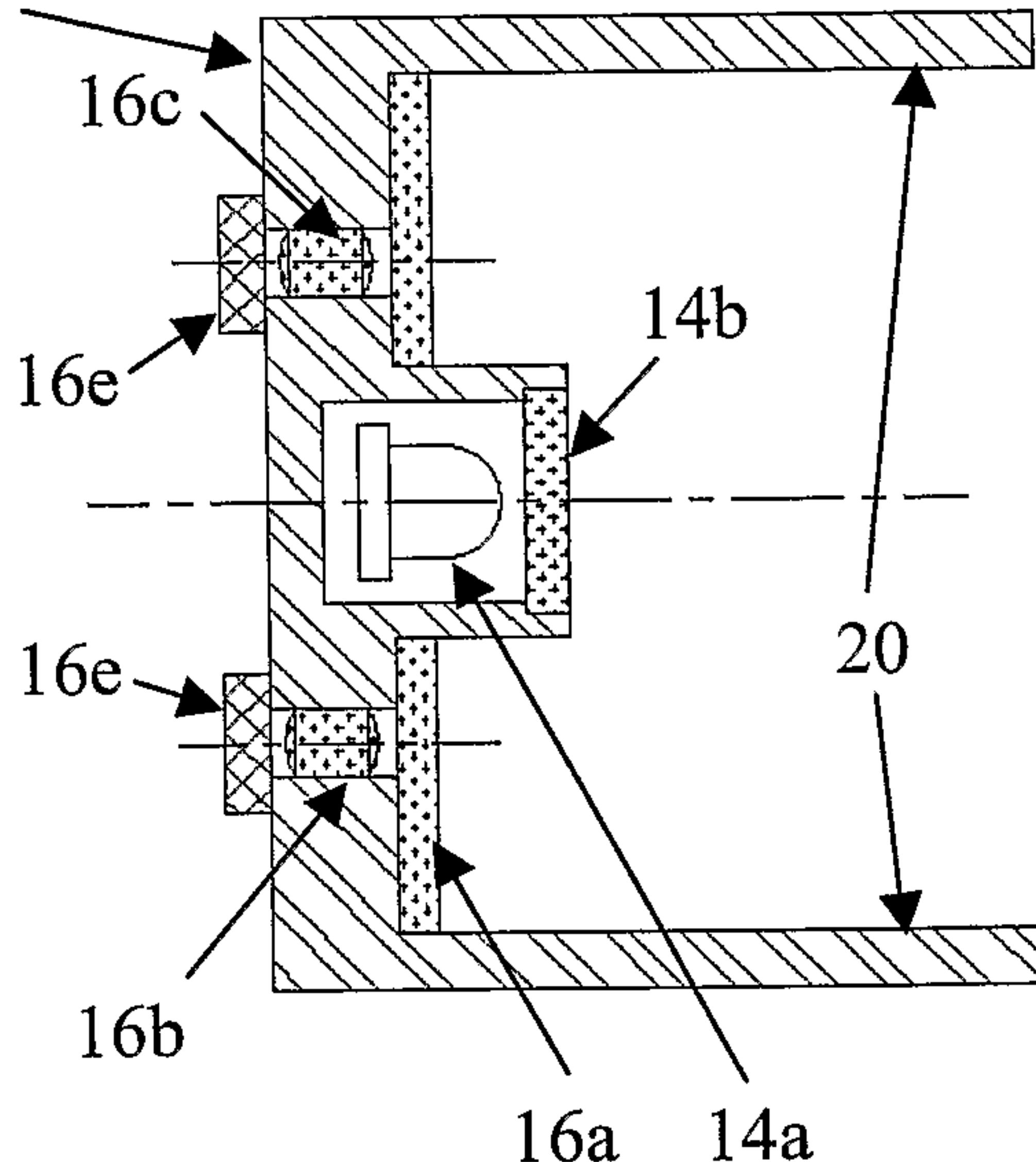
**(74) Mandataire :** **NOVAGRAAF IP**; 122, rue Edouard Vail-  
lant, F-92593 Levallois-Perret (FR).

**(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) :** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,

*[Suite sur la page suivante]*

**(54) Title:** DEVICE AND METHOD FOR THE SPACE-COLORIMETRIC MEASUREMENT OF A THREE-DIMENSIONAL OBJECT

**(54) Titre :** DISPOSITIF ET PROCÉDÉ DE MESURE SPATIO-COLORIMÉTRIQUE D'UN OBJET TRIDIMENSIONNEL



**Figure 3b**

selon l'invention propose de combiner des moyens d'éclairage avec au moins quatre moyens de détection optiques, dont au moins deux moyens de détection jumeaux sensibles à des plages de longueurs d'onde lumineuse sensiblement identiques, de façon à déterminer, par effet stéréoscopique, le bas relief de l'objet analysé. À ce titre l'invention propose un dispositif de mesure spatio-colorimétrique d'un objet (2) tridimensionnel comportant une tête de détection (4) constituée de moyens d'éclairage (14) de l'objet et d'au moins quatre moyens

**(57) Abstract:** The invention relates to a device and a method for the space-colorimetric measurement of a three-dimensional object, in order to digitally model the low-relief and the colorimetric coordinates of this object according to multiple analysis points. In order to do so, the measuring device of the invention combines a lighting means with at least four optical detection means, including at least two twin detection means sensitive to substantially identical light wavelength ranges, in order to determine by stereoscopic effect the low-relief of the object analysed. The invention thus proposes a device for the space-colorimetric measurement of a three-dimensional object (2), that comprises a detection head (4) including a lighting means (14) for the object and at least four detection means (16) for detecting the light reflected by the object (2), wherein said device further includes a unit (8) for processing the information received by the detection means (16). At least two twin detection means (16c, 16e) are sensitive to substantially identical light wavelength ranges.

**(57) Abrégé :** La présente invention vise un dispositif et un procédé de mesure spatio-colorimétrique d'un objet tridimensionnel permettant de modéliser numériquement les bas reliefs et les coordonnées colorimétriques de cet objet selon une multitude de points d'analyse. Pour ce faire, le dispositif de mesure

**WO 2009/092868 A1**

*[Suite sur la page suivante]*



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

- (84) **États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) :** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— *avec rapport de recherche internationale*

## DISPOSITIF ET PROCÉDÉ DE MESURE SPATIO-COLORIMÉTRIQUE D'UN OBJET TRIDIMENSIONNEL

5 L'invention se rapporte à un dispositif et un procédé de mesure spatio-colorimétrique non invasive d'un objet tridimensionnel en bas relief.

### DOMAINE TECHNIQUE

À ce titre, la présente invention concerne le domaine du diagnostic spatio-colorimétrique, également nommé domaine de la métrologie 10 colorimétrique.

### ÉTAT de la TECHNIQUE

Il est connu de l'état de la technique différentes solutions permettant d'analyser les caractéristiques colorimétriques d'un objet en deux 15 dimensions. Par exemple, les chirurgiens dentistes et les prothésistes utilisent des appareils permettant de définir, de façon précise, une cartographie colorimétrique de dents afin de produire des prothèses présentant sensiblement les mêmes caractéristiques colorimétriques que les dents d'origine. Pour ce faire, il est nécessaire de relever avec précision la colorimétrie d'une dent selon 20 une pluralité de points d'analyse.

À ce titre, le document n° WO 05/080929 présente un dispositif permettant de mesurer les caractéristiques colorimétriques d'une dent en une pluralité de points et dans un espace bidimensionnel.

25

De la même façon, le document n° WO 06/002703 divulgue un dispositif composé de plusieurs diodes électroluminescentes émettant des faisceaux lumineux de couleurs différentes sur un objet. Les faisceaux lumineux sont ensuite réfléchis par l'objet puis reçus par un système de détection et une 30 unité centrale de traitement de l'image. Ainsi, chaque point de l'image est analysé de sorte à déterminer le spectre constitué de différents niveaux de couleurs correspondant aux différentes longueurs d'onde d'émission des diodes électroluminescentes.

À partir de ces niveaux de couleurs, l'unité centrale de traitement calcule, pour chaque point de la surface analysée, les coordonnées colorimétriques correspondantes. Ainsi, le dispositif décrit dans ce document permet de déterminer une cartographie colorimétrique bidimensionnelle de l'objet analysé.

Cependant, ces solutions ne sont pas satisfaisantes dans la mesure où le relief, ou topologie, des objets analysés n'est pas pris en compte lors des mesures. De ce fait, les dispositifs de l'état de la technique calculent les coordonnées colorimétriques d'objets considérés comme plans par approximation.

Or, la combinaison de mesures spatiale et colorimétrique pour des objets tridimensionnels présente un large champ d'application dans le domaine dentaire, la biométrie, la métrologie industrielle ou artistique, etc. Plus particulièrement, le fait de mesurer simultanément les coordonnées spatiales, ~~selon trois directions de l'espace~~, et colorimétriques de l'objet analysé permet d'améliorer sensiblement la qualité des résultats.

En effet, la valeur des coordonnées colorimétriques dépend directement de la position de l'objet mesuré vis-à-vis de moyens d'éclairage puisque la quantité de lumière reçue par un objet décroît proportionnellement au carré de la distance qui le sépare de ces moyens d'éclairage. De la même façon, plus l'angle défini entre la normale à l'objet analysé et le rayon lumineux émis est important, plus la quantité de lumière réfléchie, dans le cadre d'une réflexion diffuse, diminue. De ce fait, les approximations réalisées par les dispositifs de l'état de la technique génèrent des erreurs importantes qui dénaturent au moins partiellement la qualité de l'analyse colorimétrique réalisée.

Une autre difficulté relative à la mesure colorimétrique provient du choix de l'éclairage de l'objet à analyser. En effet, il est préférable d'utiliser des moyens d'éclairage permettant d'opérer une répartition du flux lumineux suivant des critères géométriques et chromatiques prédéterminés. Mais ce choix dépend de critères de qualité, de coût, d'encombrement, et de durée de vie.

La présente invention vise à pallier les inconvénients de l'état de la technique mentionnés ci-dessus en proposant un dispositif et un procédé de mesure spatio-colorimétrique d'un objet tridimensionnel permettant de modéliser 5 numériquement les bas reliefs et les coordonnées colorimétriques de cet objet selon une multitude de points d'analyse.

L'invention vise également à proposer un procédé de calcul de la cartographie colorimétrique d'un objet tridimensionnel en tenant compte des 10 paramètres du dispositif de mesure.

Pour ce faire, le dispositif de mesure selon l'invention propose de combiner des moyens d'éclairage avec des moyens de détection monochromatiques, dont au moins deux moyens de détection jumeaux sensibles à des plages de longueurs d'onde lumineuse sensiblement identiques, 15 de façon à déterminer, par effet stéréoscopique, le bas relief de l'objet analysé.

Plus précisément, l'invention a pour objet un dispositif de mesures spatio-colorimétrique d'un objet tridimensionnel comportant une tête de détection constituée de moyens d'éclairage de l'objet et d'au moins quatre moyens de détection de la lumière réfléchie par l'objet, le dispositif comportant 20 en outre une unité de traitement des informations reçues par les moyens de détection, dans lequel au moins deux moyens de détection jumeaux sont sensibles à des plages de longueurs d'onde lumineuse sensiblement identiques.

25

L'utilisation d'au moins deux moyens de détection jumeaux sensibles à des plages de longueurs d'onde lumineuse sensiblement identiques permet de calculer, par stéréoscopie, la distance des points analysés par rapport aux moyens de détection. Ainsi, les coordonnées spatiales de l'objet peuvent être déterminées selon les trois directions de l'espace et les 30 coordonnées colorimétriques peuvent être corrigées en fonction de la position des points d'analyse par rapport à la tête de détection (distance et normale à la surface).

Par ailleurs, la mise en oeuvre simultanée de plusieurs moyens de détections monochromatiques, sensibles chacun et de façon complémentaire à une partie du domaine des longueurs d'ondes du visible, permet, au moyen d'un algorithme de calcul, de composer une image numérique couleur des objets analysés. Ce procédé apporte une meilleure précision que les capteurs photoniques matriciels couleurs et un vitesse d'acquisition inférieure aux systèmes de détection photoniques monochromatiques multi-spectraux séquentiels.

10

Selon des modes de réalisation particuliers :

15

20

25

30

- les deux moyens de détection jumeaux comportent des éléments de filtration jumeaux associés à au moins un capteur matriciel photoniques ;
- le capteur matriciel photonique est divisé en plusieurs zones recevant respectivement les rayons lumineux provenant de chacun des éléments de filtration jumeaux. Ainsi, les zones du capteur photonique n'ont pas besoin d'être synchronisées l'une par rapport à l'autre ;
- les capteurs matriciels photoniques sont des capteurs CMOS de telle sorte que même si un pixel est violemment saturé de photons, cela a peu d'incidence sur les pixels voisins. Une interpolation bilinéaire tenant compte des valeurs colorimétriques des pixels entourant un point d'analyse est toutefois prévue de manière à lisser les résultats obtenus ;
- les deux moyens de détection jumeaux sont sensibles à une plage de longueur d'onde sensiblement égale au domaine des longueurs d'ondes du vert, ce qui permet d'obtenir des résultats particulièrement pertinents quant à la topologie des objets analysés ;
- les deux moyens de détection primaires sont sensibles, l'un à une plage du domaine des longueurs d'ondes du bleu, l'autre à une plage du domaine des longueurs d'ondes du rouge ;
- les moyens d'éclairage sont constitués d'une source de lumière centrale autour de laquelle sont disposés les moyens de détection ;
- les moyens d'éclairage sont constitués d'une source d'éclairage annulaire disposée autour des moyens de détection, ce qui est

avantageux car l'éclairage est ainsi sensiblement homogène pour l'ensemble des points d'analyse ;

- 5 - la tête de détection est coiffée d'un embout de cloisonnement de profondeur pré-déterminée de manière à réduire le temps de calcul du procédé. En effet, le calcul itératif est ainsi réalisé entre une distance minimale correspondant sensiblement à la profondeur de l'embout de cloisonnement et une distance maximale correspondant à la profondeur de champ d'observation ;

10 Selon un autre aspect, l'invention concerne également un procédé de mesure spatio-colorimétrique d'un objet tridimensionnel comportant les étapes suivantes : émettre au moins un rayonnement lumineux pour éclairer l'objet à analyser, recevoir les rayons lumineux réfléchis par l'objet sur au moins quatre moyens de détection, et transférer les informations lumineuses recueillies par les moyens de détection vers une unité de traitement. Les rayons lumineux réfléchis par l'objet sont détectés par au moins deux moyens de détection  
15 - jumeaux sensibles-à-des plages de longueurs d'onde lumineuse sensiblement identiques.

20 Selon des modes de réalisation particuliers :

- 25 - le procédé comporte préalablement une étape d'étalonnage des moyens de détection ;
- 30 - l'unité de traitement détermine, par calcul itératif, la position relative d'une pluralité de points d'analyse par rapport à la tête de détection afin de tenir compte de la position de ces points par rapport à la source lumineuse et aux moyens de détection pour ajuster les coordonnées colorimétriques de l'objet analysé ;
- l'unité de traitement détermine, par stéréoscopie, la distance d'une pluralité de points d'analyse par rapport aux moyens de détection ;
- l'unité de traitement détermine les coordonnées de la normale à la surface de l'objet, en une pluralité de points d'analyse ;
- le calcul itératif de la profondeur est réalisé entre une profondeur minimale, correspondant à la distance entre les moyens de détection et

l'extrémité d'un embout de cloisonnement, et une profondeur maximale prédéterminée ;

- le pas d'itération est sensiblement égal à la taille du champ correspondant à un pixel pour la profondeur minimale prédéterminée. La valeur mesurée est ainsi sensiblement isotrope ;
- l'unité de traitement écarte des points d'analyse dont l'intensité des valeurs colorimétriques dépasse une valeur prédéterminée par étalonnage de sorte que les erreurs dues à la réflexion spéculaire soient identifiées ;
- le procédé comporte une étape de calcul des coordonnées colorimétriques d'une pluralité de points d'analyse pondérée selon la position desdits points d'analyse ;
- les coordonnées colorimétriques de chaque point sont ajustées par interpolation bilinéaire de sorte à respecter la linéarité de la colorimétrie de l'objet analysé.

### DESCRIPTION DÉTAILLÉE

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront à la lecture qui suit d'exemples de réalisation détaillés, en référence aux figures qui illustrent respectivement :

- la figure 1, une représentation schématique d'un dispositif de mesure selon l'invention ;
- les figures 2a et 2b, des représentations schématiques d'un premier mode de réalisation d'une tête de détection selon l'invention comportant des moyens d'éclairage annulaire ;
- les figures 3a et 3b, des représentations schématiques d'un deuxième mode de réalisation d'une tête de détection selon l'invention comportant des moyens d'éclairage centraux ;
- la figure 4, une représentation schématique du fonctionnement des moyens de détection jumeaux.

Il est à noter que le terme de mesure isotrope signifie que la résolution de la mesure est sensiblement la même selon les trois directions de l'espace.

5

Un exemple de réalisation d'un dispositif de mesure selon l'invention va maintenant être décrit en référence à la figure 1. Dans cet exemple de réalisation, le dispositif permet de réaliser une mesure spatio-colorimétrique d'un objet tridimensionnel 2, en l'occurrence une dent.

10

Bien entendu, tout autre objet tridimensionnel 2 bas relief, c'est-à-dire dont la topologie ne présente aucune contre dépouille, pourrait également faire l'objet d'une telle mesure spatio-colorimétrique. Par exemple, l'objet tridimensionnel 2 mesuré pourrait être une peinture, une pièce produite dans l'industrie, un billet, etc.

15

Le dispositif selon l'invention comporte de préférence une tête de détection 4 et un boîtier de support 6 relié à une unité de traitement 8 des informations provenant de la tête de détection 4.

20

L'unité de traitement 8 est séparée du boîtier de support 6 et reliée à celui-ci par l'intermédiaire de moyens de communication 10. Cette configuration permet notamment de réduire les dimensions du boîtier de support 6 ainsi que les coûts de production du dispositif de mesure. Le dispositif est ainsi compact de sorte à pouvoir être aisément manipulé d'une seule main par un opérateur. L'unité de traitement 8 pourrait également être intégrée dans un support 8 plus stable afin d'améliorer la précision des résultats et de mesurer des objets 2 plus volumineux.

25

Avantageusement, les données numériques recueillies par la tête de détection 4 sont transmises, par le biais de moyens de communication 10, à une unité de traitement 8 permettant reconstituer par calcul itératif les coordonnées spatio-colorimétriques de l'objet analysé. Ces moyens de communication 10 peuvent alternativement être filaire ou bien sans fil.

Il est à noter que la tête de détection 4 présente des dimensions adaptées à la taille de l'objet tridimensionnel 2 mesuré de sorte à réduire le temps de traitement des informations fournies par la tête de détection 4 à l'unité de traitement 8.

5

Les figures 2a et 2b sont des représentations schématiques d'un premier mode de réalisation d'une tête de détection 4 selon l'invention. Dans cet exemple, la tête de détection 4 comporte des moyens d'éclairage 14 centraux et quatre moyens de détection optiques 16 disposés autour et à égale distance des moyens d'éclairage 14 centraux.

10

Les moyens d'éclairage 14 annulaires comportent des sources de lumière 14a large spectre dans le domaine du visible. Il serait envisageable d'utiliser plus ou moins de sources de lumière 14a. Néanmoins les résultats expérimentaux ont montré qu'à partir de huit sources lumineuses 14a, la résolution en chaque point d'analyse est relativement constante. L'éclairage fourni par les moyens d'éclairage 14 annulaires est donc continu et la puissance est susceptible d'être ajustée aux besoins de la mesure. Les moyens d'éclairage 14 annulaire comportent également avantageusement un verre dépoli 14b, ou holographique, situé en aval de la source de lumière 14a afin d'améliorer l'homogénéité de l'éclairage.

15

20

Selon une variante de réalisation, la source de lumière 14 annulaire pourrait être constituée d'un tube de néon circulaire.

25

Avantageusement, les moyens de détection optique 16 sont constitués d'un filtre infrarouge 16a éliminant les parasites infrarouges auxquels sont sensibles les capteurs photoniques de type CMOS (présentés ci-après). Selon un mode de réalisation le filtre infrarouge 16a est un filtre BG40 de la société SCOTT.

Les moyens de détection 16 comportent en outre quatre éléments de filtration 16b, 16c disposés derrière les éléments d'optique 16a et au centre des moyens d'éclairage 14 annulaires. De préférence, les éléments de

filtration 16b,16c sont des lentilles permettant à la fois de filtrer et de focaliser les rayons lumineux provenant de l'objet analysé vers les capteurs photoniques (présentés ci-après).

5 Les axes optiques de ces quatre éléments de filtration 16b,16c sont sensiblement parallèles entre eux et sensiblement selon la même direction que l'axe de propagation des moyens d'éclairage 14 annulaires.

10 Toutefois, selon plusieurs variantes, les éléments de filtration 16b,16c peuvent également présenter des axes optiques convergents vers un même point, ou bien vers des points différents, ou encore une composition de ces différentes possibilités.

15 Une première paire d'éléments de filtration primaires 16b est constituée d'une lentille de filtration bleue, de référence B440 chez la société HOYA, et d'une lentille de filtration rouge, de référence DG570 chez la société SCHOTT. De préférence, cette paire d'éléments de filtration est disposée de façon symétrique par rapport à l'axe centrale des moyens d'éclairage 14 annulaire.

20 Par ailleurs, les moyens de détection 16 comportent également une paire d'éléments de filtration jumeaux 16c présentant une bande passante sensiblement identique. Avantageusement, ces éléments de filtration jumeaux 16c sont des lentilles de couleur verte, par exemple des lentilles de référence G550 chez la société HOYA. Ces éléments de filtration jumeaux 16c sont avantageusement disposés de façon à former une symétrie de révolution autour de l'axe centrale des moyens d'éclairage 14 annulaires.

30 Un capteur photonique 16e, subdivisé en quatre quadrants respectivement en correspondance avec les quatre éléments de filtration 16b,16c, est disposé derrière les éléments de filtration 16b,16c de façon à recevoir les rayons lumineux propagés au travers de ces éléments de filtration 16b,16c. Ce capteur photonique 16e est de préférence un capteur CMOS.

La combinaison des éléments de filtration jumeaux 16c avec la zone du capteur photonique 16e correspondant forme les moyens de détection jumeaux (16c,16e). De la même façon, la combinaison des éléments de filtration primaires 16b avec la zone du capteur photonique 16e correspondant forme les moyens de détection primaires (16b,16e).

Selon un deuxième mode de réalisation décrit en référence aux figures 3a et 3b, la tête de détection 4 est constituée de moyens de détection 16 présentant quatre éléments de filtration 16b,16c disposés autour de moyens d'éclairages 14 centraux, de préférence positionnés derrière un filtre diffusant 14b de type holographique.

Selon cet exemple de réalisation, les moyens de détection 16 présentent deux éléments de filtration primaires 16b, respectivement de couleur rouge et bleu, et deux éléments de filtration jumeaux 16c, de couleur verte 16c.

Avantageusement les deux éléments de filtration jumeaux 16c sont intercalés entre les deux éléments de filtration primaires 16b de façon à conserver une symétrie par rapport à l'axe de révolution de la tête de détection 4. Toutefois, les éléments de filtration jumeaux 16c pourraient également être disposés côte à côte.

Dans cet exemple de réalisation, la tête de détection 4 comporte quatre capteurs photoniques 16e, indépendants et synchronisés, également disposés derrière les éléments de filtration 16b,16c de façon à recevoir les rayons lumineux propagés au travers de ces éléments de filtration 16b,16c.

La tête de détection 4 est de préférence coiffée d'un embout de cloisonnement 20 d'une profondeur prédéterminée permettant de définir une chambre dans laquelle l'objet analysé n'est pas perturbé par la lumière extérieure. La profondeur de l'embout de cloisonnement 20 définit la profondeur minimale d'observation. En effet, l'objet 2 analysé ne peut être situé à une distance variable vis-à-vis des moyens de détection 16 qui correspond à une

distance de tolérance prédéterminée en avant ou en arrière de la distance nominale de l'embout de cloisonnement 20.

5 Cet embout de cloisonnement 20 présente une profondeur de quelques centimètres dans le cadre d'un dispositif de mesure portatif ou bien quelques mètres dans le cadre d'un dispositif monté sur un support.

10 Avantageusement, la profondeur de l'embout de cloisonnement 20 est cinq fois supérieure à la profondeur de l'objet 2 à mesurer. De la même façon, la largeur et la hauteur de l'objet 2 analysé sont, de préférence, environ 15 trois fois supérieures à la profondeur de l'objet à mesurer.

15 En phase d'utilisation, le dispositif selon l'invention peut être maintenu par le biais du boîtier de support 6 et actionné grâce au circuit de commande 9 du dispositif.

20 De préférence, l'opérateur réalise dans un premier temps un étalonnage du dispositif de mesure en plaçant une surface blanche contre l'embout de cloisonnement 20. La durée de la prise de mesure est déterminée de façon à ce que l'intensité maximale du ou des capteurs photoniques, 25 n'excède pas environ 85% de l'intensité maximale admissible. Ainsi, lors de la prise de mesure, les éventuels effets spéculaires se traduiront par une intensité égale à l'intensité maximale admissible et pourront donc être détectables.

25 L'embout de cloisonnement 20 du dispositif de mesure selon l'invention est ensuite placé contre l'objet 2 à analyser, de sorte que l'objet se trouve au moins partiellement protégé de la lumière extérieure.

30 Le procédé selon l'invention consiste, dans un second temps, à réaliser au moins une prise de mesure, ou numérisation, non invasive et d'une très courte durée. En effet, cette mesure est réalisée sans contact et en utilisant des moyens d'éclairage 14 d'une parfaite innocuité. D'autre part, le temps de mesure peut être inférieure au dixième de seconde.

Lors de cette deuxième mesure, les rayons lumineux, émanant des moyens d'éclairage 14, se propagent vers l'objet 2 analysé, avant d'être réfléchis vers les moyens de détection 16.

Ainsi, ces rayons lumineux réfléchis traversent successivement l'élément d'optique 16a, puis les éléments de filtration 16b, 16c avant d'atteindre le ou les capteurs matriciels photoniques 16e. Une information optique correspondant à un point d'analyse est donc recueillie par chacun des pixels constituant les capteurs matriciels photoniques 16f. Ces informations sont ensuite transmises vers l'unité de traitement 8, par l'intermédiaire de moyens de communication 10 avec une unité centrale 12, afin d'en déduire la cartographie spatio-colorimétrique de l'objet 2 analysé.

Les moyens de détection jumeaux, constitués par les éléments de filtration jumeaux 16c et les capteurs matriciels 16e correspondants, permettent, par calcul stéréoscopique dans l'unité de traitement 8, de déterminer les coordonnées spatiales de chacun des points analysés.

En effet, les moyens de détection jumeaux reçoivent la lumière réfléchie sur l'objet dans les mêmes conditions spectrales. Dans ce cas, les valeurs obtenues par les moyens de détection jumeaux devraient être égales.

Dans le cadre d'un dispositif de mesure selon l'invention présentant les caractéristiques représentées sur la figure 4, la valeur de l'intensité lumineuse réémise par un point de l'objet analysé peut être exprimée par les relations suivantes :

$$Lo_G = \frac{Lp_G}{\cos(b_G) \times d_{2G}^2} \quad \text{et} \quad Lo_D = \frac{Lp_D}{\cos(b_D) \times d_{2D}^2}, \quad \text{où}$$

30 -  $Lo_D$  représente la valeur de l'intensité lumineuse réémise par un point d'analyse, déterminée à partir d'un capteur droit;

- $Lo_G$ , la valeur de l'intensité lumineuse réémise par un point d'analyse, déterminée à partir d'un capteur gauche ;
- $Lp_D$ , l'énergie lumineuse reçue par le pixel du capteur droit après réflexion diffuse sur l'objet ;
- 5 -  $Lp_G$ , l'énergie lumineuse reçue par le pixel du capteur gauche après réflexion diffuse sur l'objet ;
- $b_D$ , l'angle entre la normale du capteur droit en un pixel et le rayon issu de l'objet ;
- $b_G$ , l'angle entre la normale du capteur gauche en un pixel et le rayon 10 issu de l'objet ;
- $d_{2D}$ , la longueur du trajet lumineux depuis le point d'analyse jusqu'au pixel correspondant sur le capteur droit ; et
- $d_{2G}$ , la longueur du trajet lumineux depuis le point d'analyse jusqu'au pixel correspondant sur le capteur droit.

15

Par conséquent, le procédé selon l'invention prévoit de calculer de manière itérative, pour chaque profondeur potentielle d'un point d'analyse comprise entre une profondeur minimale et une profondeur maximale prédéterminées, la profondeur pour laquelle les valeurs de l'intensité lumineuse ( $Lo_G, Lo_D$ ) réémises par un point d'analyse et calculées à partir des moyens de détection jumeaux, sont les plus proches.

20

Il est à noter que la profondeur minimale correspond avantageusement à la profondeur de l'embout de cloisonnement 20 tandis que la profondeur maximale correspond à la profondeur du champ d'observation. De préférence, le pas d'itération est sensiblement égal à la taille du champ correspondant à un pixel pour la profondeur minimale prédéterminée.

30

L'unité de traitement 8 détermine à ce stade un couple de données correspondant à la profondeur d'une pluralité de points d'analyse et à l'intensité lumineuse réémise par lesdits points d'analyse correspondant à la plage de longueur des moyens de détection jumeaux. L'unité de traitement en déduit ainsi, les coordonnées (x,y,z) de chaque point d'analyse de l'objet mesuré.

5                   À partir de ces données, l'unité de traitement 8 détermine également la normale en chaque point d'analyse pour être en mesure de restituer la couleur en ce point d'analyse. Cette opération se fait par calcul du plan moyen passant par chaque point d'analyse.

10                  L'unité de traitement 8 détermine enfin, à partir des valeurs de l'intensité lumineuse recueillie par les moyens de détection primaires et jumeaux, la cartographie colorimétrique de l'objet analysé. Cette cartographie est pondérée en fonction de la position spatiale des points d'analyse et notamment de la distance de ces points d'analyse vis-à-vis des moyens de détection 16 ainsi que de la direction de la normale à la surface de l'objet en chacun de ces points d'analyse.

15                  Il est éventuellement possible de réaliser plusieurs séries de mesure de façon à accroître la précision des résultats.

20                  L'invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation décrits et représentés ci-dessus. Notamment, l'homme du métier est à même de réaliser différentes variantes des dispositif et procédé décrits susmentionnés sans sortir du cadre de l'invention.

25                  Notamment, bien qu'il soit préférable d'utiliser des lentilles de filtration monochromatiques, les éléments de filtrations 16b, 16c pourraient être composés de lentille combinées à des filtres de couleur. Par ailleurs, le dispositif selon l'invention pourrait également être composé de quatre paires de moyens de détection 16 ou plus, dans le but d'améliorer la qualité des résultats, notamment sur le plan colorimétrique.

30                  D'autre part, il serait également envisageable de remplacer les capteurs matriciels photoniques CMOS par des capteurs CDD ou tout autre type de capteur photonique.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif de mesure spatio-colorimétrique d'un objet (2) tridimensionnel comportant une tête de détection (4) constituée de moyens d'éclairage (14) de l'objet et d'au moins quatre moyens de détection (16) de la lumière réfléchie par l'objet (2), le dispositif comportant en outre une unité de traitement 8 des informations reçues par les moyens de détection (16), caractérisé en ce qu'au moins deux moyens de détection jumeaux (16c,16e) sont sensibles à des plages de longueurs d'onde lumineuse sensiblement identiques.
2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les deux moyens de détection jumeaux (16c,16e) comportent des éléments de filtration jumeaux (16c) associés à au moins un capteur matriciel photoniques (16e).
3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que le capteur matriciel photonique (16e) est divisé en plusieurs zones recevant respectivement les rayons lumineux provenant de chacun des éléments de filtration jumeaux (16c).
4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel les capteurs (16e) matriciel photoniques sont des capteurs CMOS.
5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel les deux moyens de détection jumeaux (16c,16e) sont sensibles à une plage de longueur d'onde sensiblement égale au domaine des longueurs d'ondes du vert.
6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les deux moyens de détection primaires (16b,16e) sont sensibles, l'un à une plage du domaine des longueurs d'ondes du bleu, l'autre à une plage du domaine des longueurs d'ondes du rouge.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel les moyens d'éclairage (14) sont constitués d'une source de lumière (14a) centrale autour de laquelle sont disposés les moyens de détection (16).

5

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel les moyens d'éclairage (14) sont constitués d'une source d'éclairage (14a) annulaire disposée autour des moyens de détection (16).

10

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel la tête de détection (4) est coiffée d'un embout de cloisonnement (20) de profondeur prédéterminée.

15

10. Procédé de mesure spatio-colorimétrique d'un objet (2) tridimensionnel comportant les étapes suivantes :

20

- i.—émettre au moins un rayonnement lumineux pour éclairer l'objet (2) à analyser,
- ii. recevoir les rayons lumineux réfléchis par l'objet (2) sur au moins quatre moyens de détection (16),
- iii. transférer les informations lumineuses recueillies par les moyens de détection (16) vers une unité de traitement (8),

25

**caractérisé en ce que** les rayons lumineux réfléchis par l'objet (2) sont détectés par au moins deux moyens de détection jumeaux (16c,16e) sensibles à des plages de longueurs d'onde lumineuse sensiblement identiques.

30

11. Procédé selon la revendication 10, comportant préalablement une étape d'étalonnage des moyens de détection (16).

12. Procédé selon la revendication 10 ou 11, dans lequel l'unité de traitement (8) détermine, par calcul itératif, la position relative d'une pluralité de points d'analyse par rapport à la tête de détection (4).

13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel l'unité de traitement (8) détermine, par stéréoscopie, la distance d'une pluralité de points d'analyse par rapport aux moyens de détection (16).

5

14. Procédé selon la revendication 12 ou 13, dans lequel l'unité de traitement (8) détermine les coordonnées de la normale à la surface de l'objet (2), en une pluralité de points d'analyse.

10

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 14, dans lequel le calcul itératif de la profondeur est réalisé entre une profondeur minimale, correspondant à la distance entre les moyens de détection (16) et l'extrémité d'un embout de cloisonnement (20), et une profondeur maximale prédéterminée.

15

16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 15, dans lequel ~~le pas d'itération est sensiblement égal à la taille du champ correspondant à un pixel pour la profondeur minimale prédéterminée.~~

20

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 16, dans lequel l'unité de traitement (8) écarte des points d'analyse dont l'intensité des valeurs colorimétriques dépasse une valeur prédéterminée par étalonnage.

25

18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 13 à 17, comportant une étape de calcul des coordonnées colorimétriques d'une pluralité de points d'analyse pondérées selon la position desdits points d'analyse.

30

19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 13 à 18, dans lequel les coordonnées colorimétriques de chaque point sont ajustées par interpolation bilinéaire.

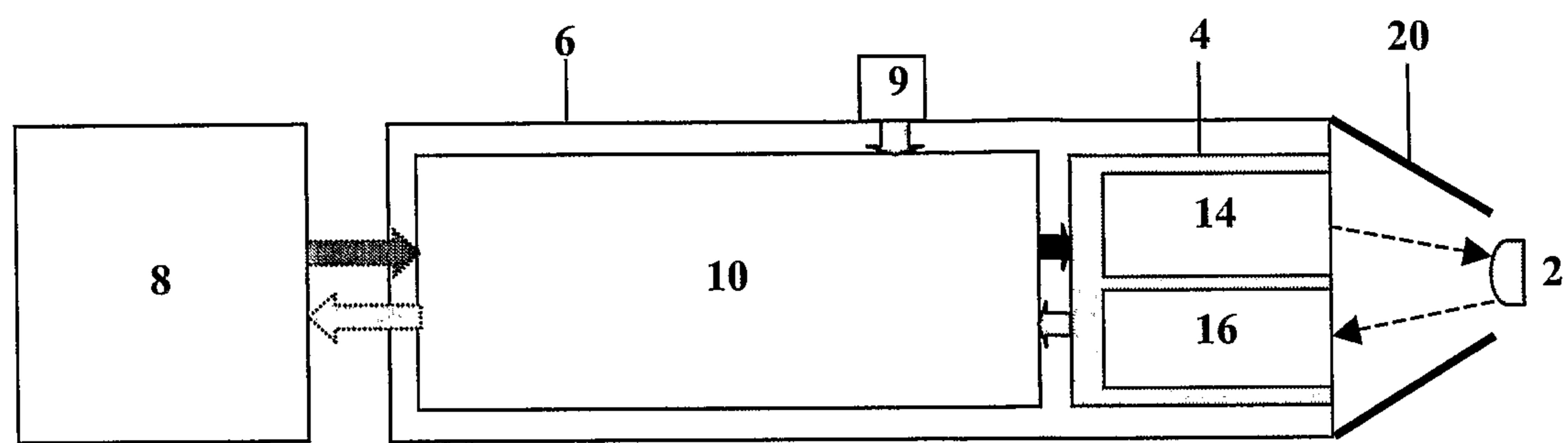


Figure 1

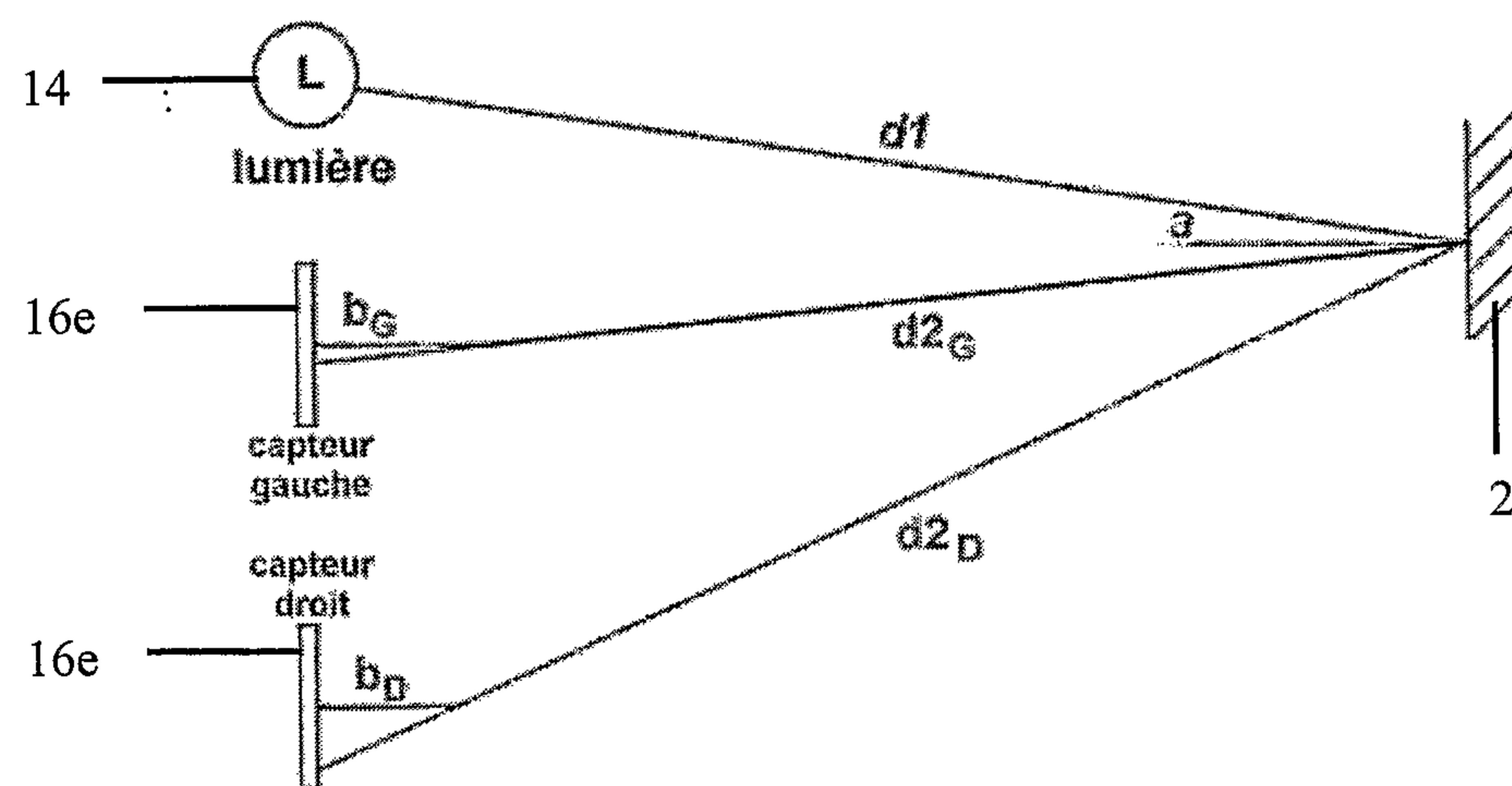


Figure 4

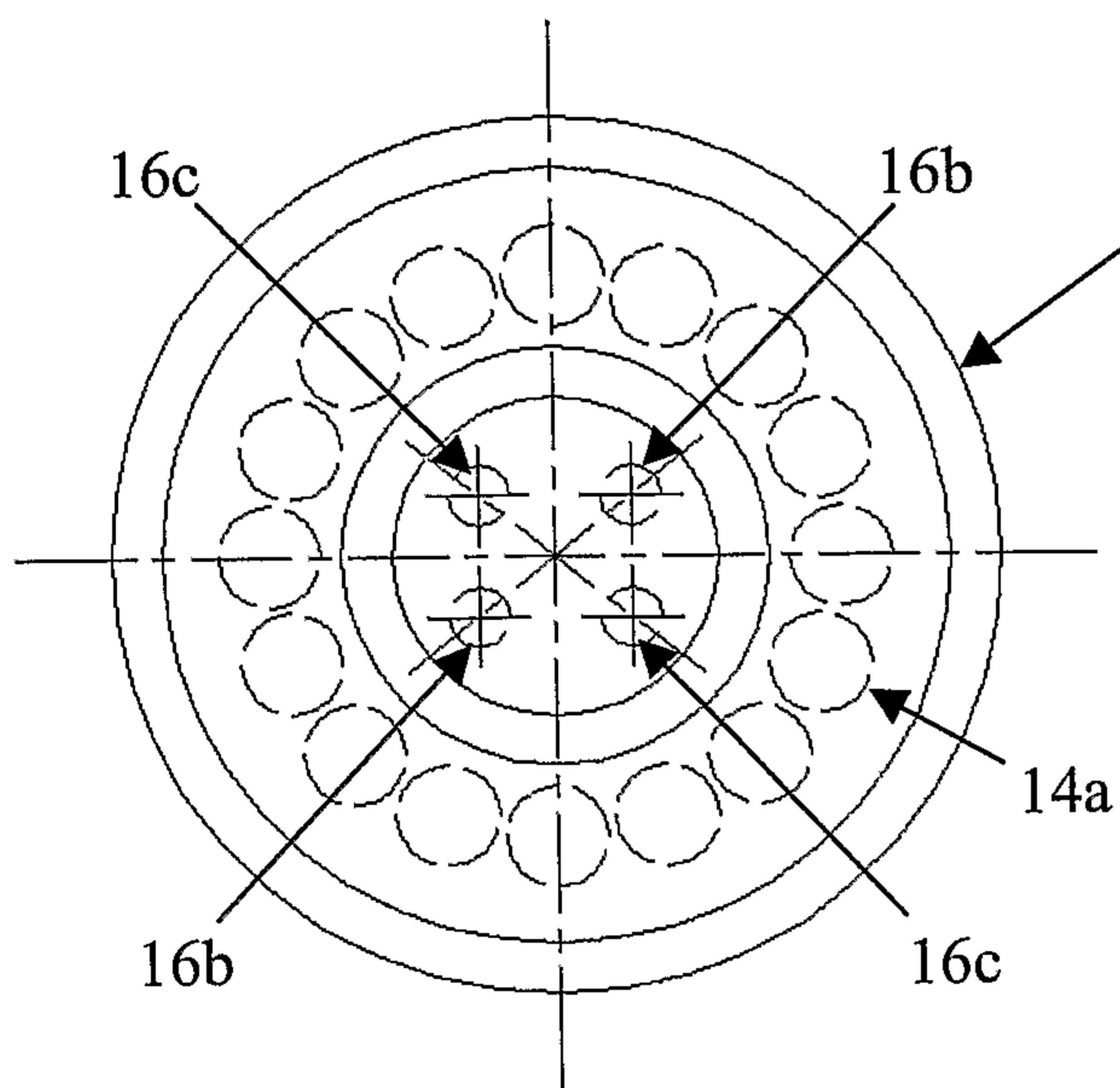


Figure 2a

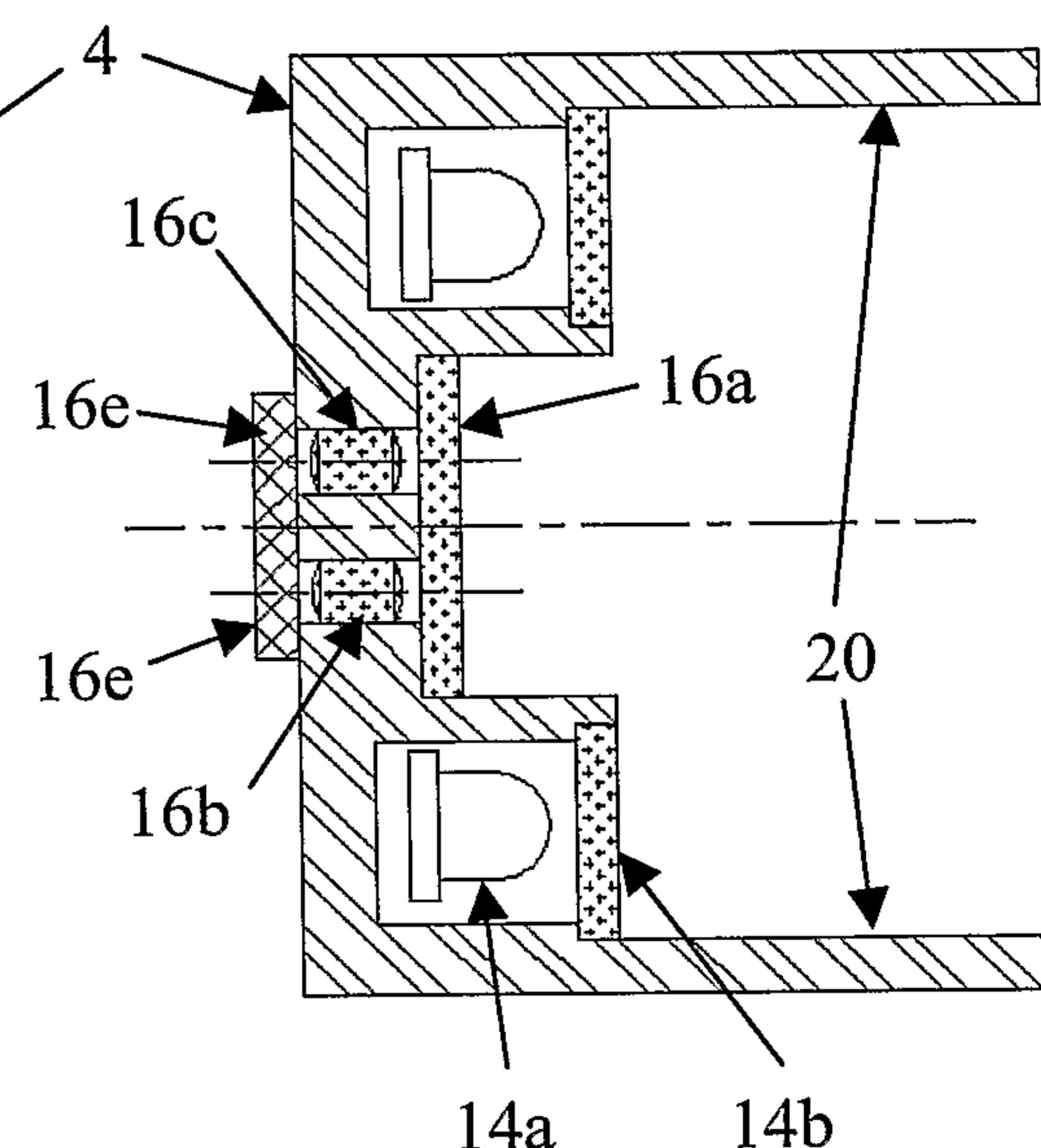


Figure 2b

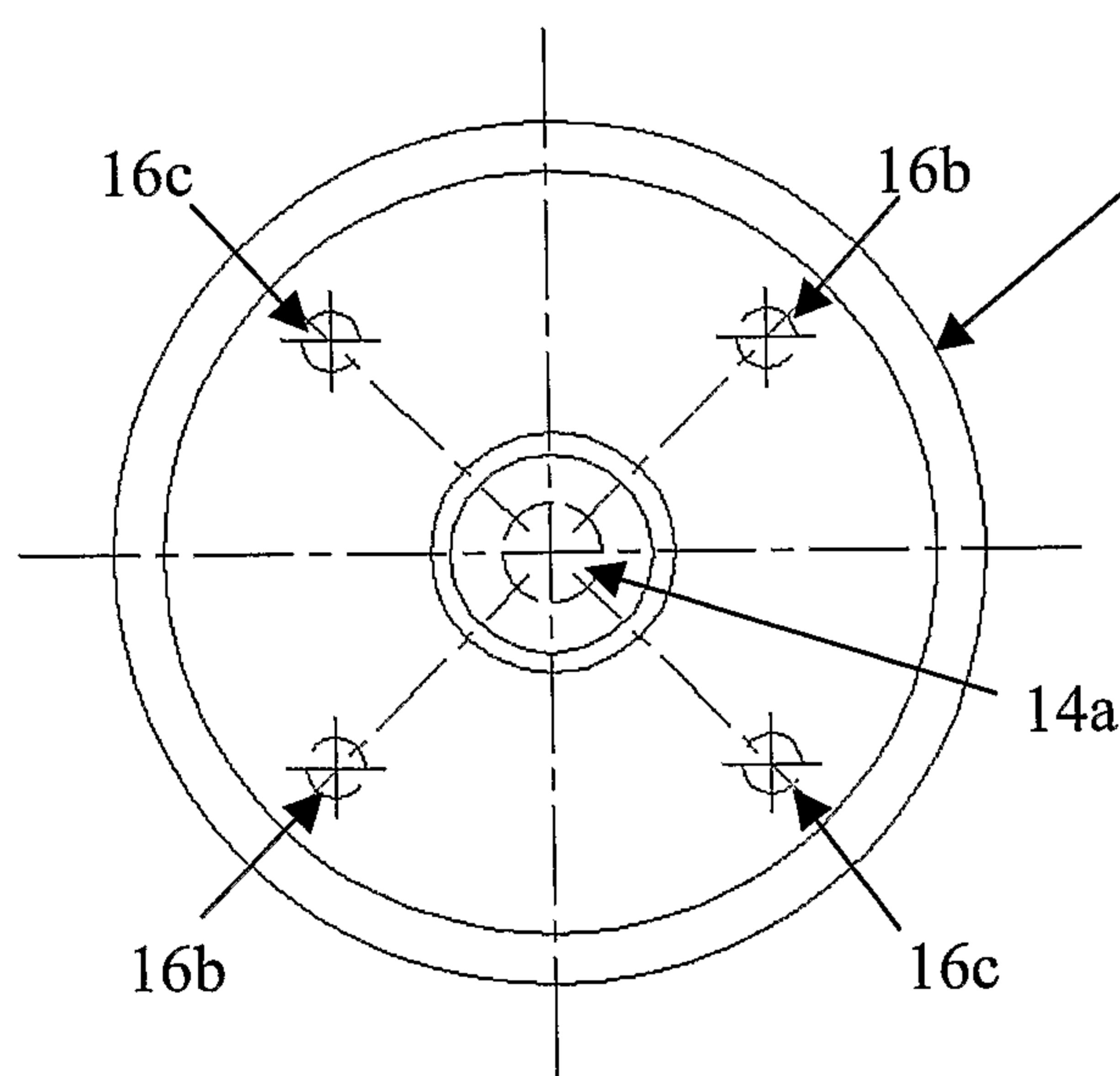


Figure 3a

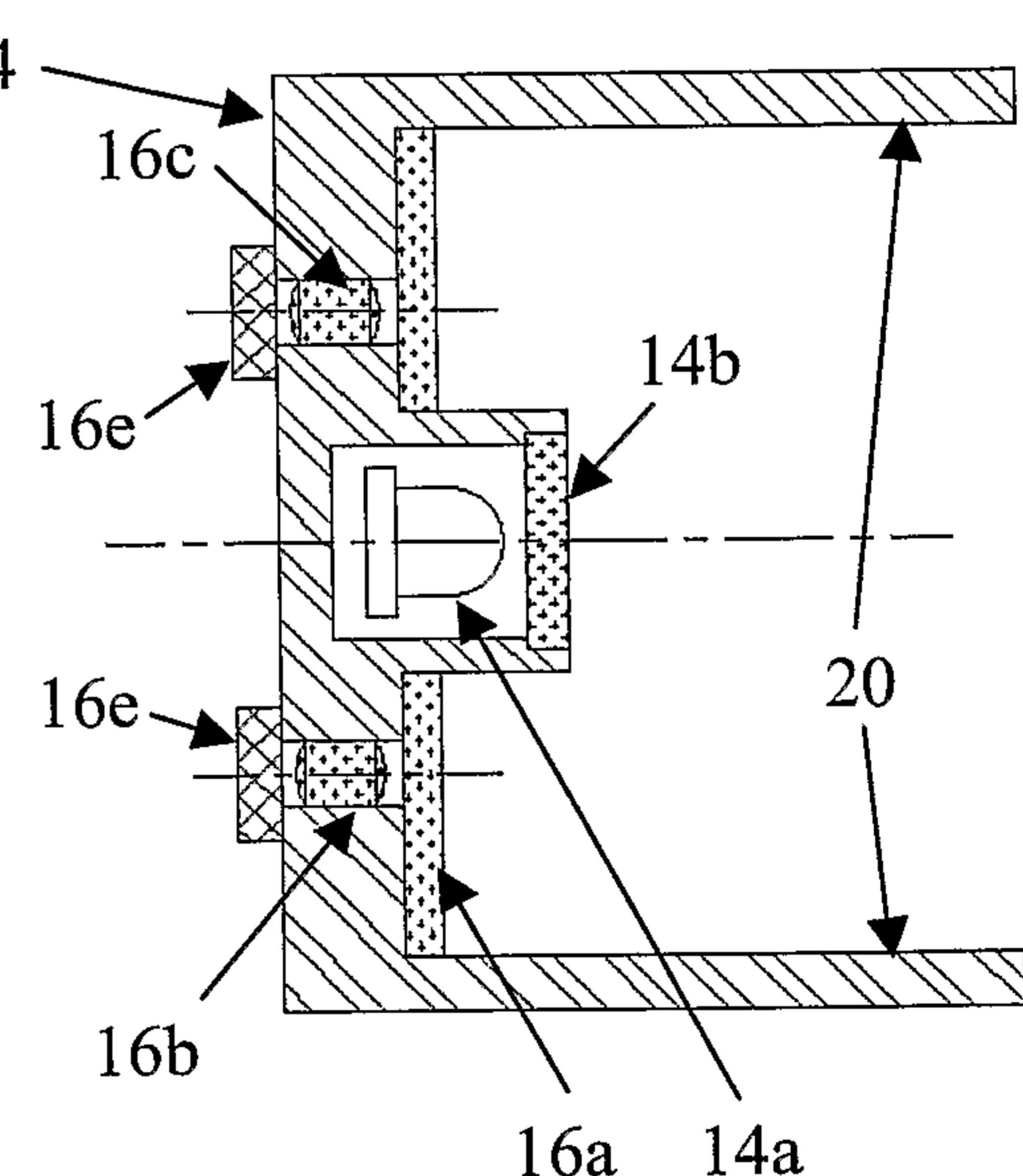


Figure 3b

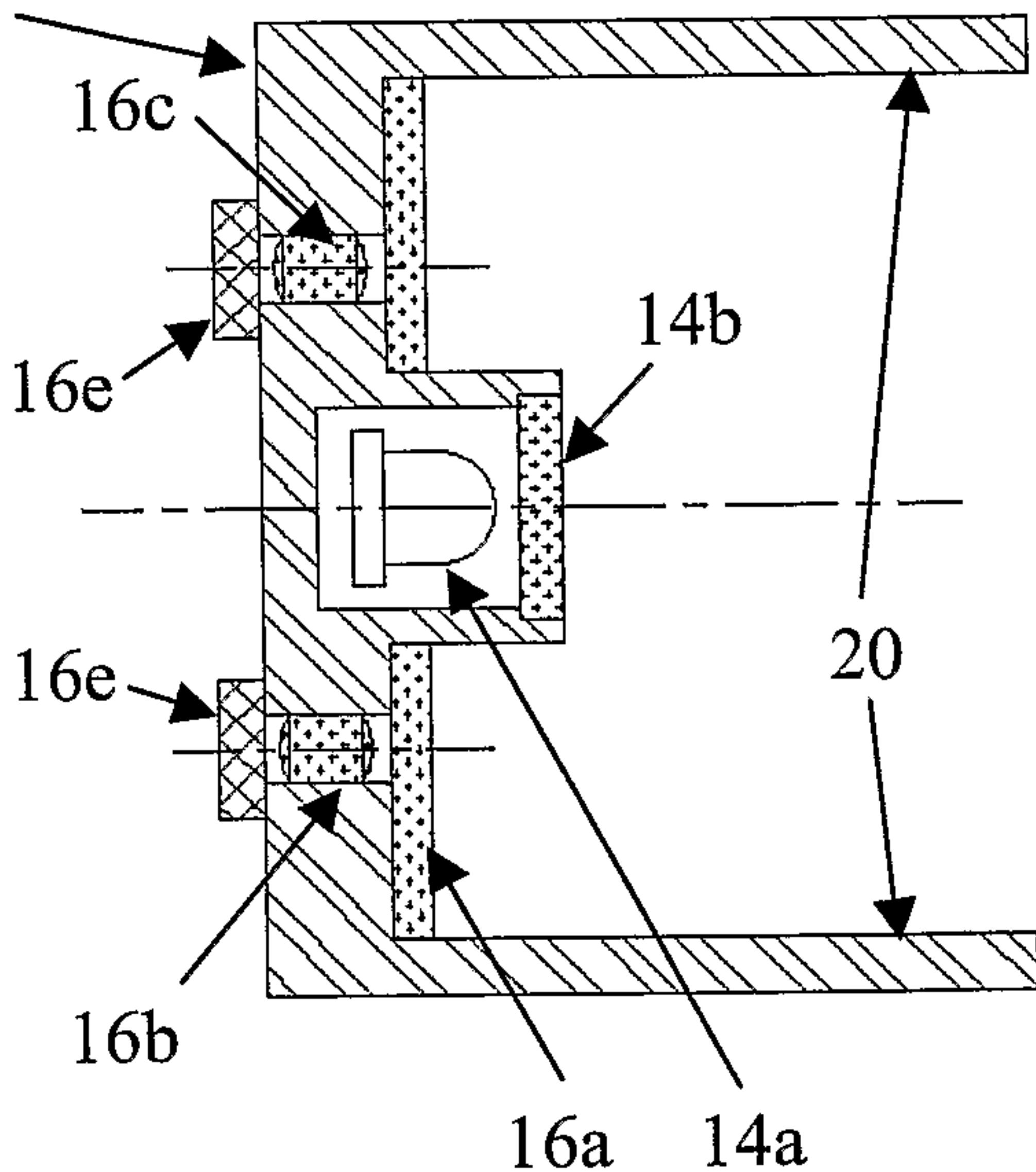


Figure 3b