



(11) **EP 2 483 909 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
05.09.2018 Bulletin 2018/36

(51) Int Cl.:
H01J 47/02 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **10771801.7**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2010/052049

(22) Date de dépôt: **29.09.2010**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2011/039473 (07.04.2011 Gazette 2011/14)

(54) **DÉTECTEURS DE RADIATIONS ET DISPOSITIFS D'IMAGERIE AUTORADIOGRAPHIQUE
COMPRENANT DE TELS DÉTECTEURS**

STRAHLUNGSDETEKTOREN UND AUTORADIOGRAFISCHE BILDGEBUNGSVORRICHTUNGEN
MIT DERARTIGEN DETEKTOREN

RADIATION DETECTORS AND AUTORADIOGRAPHIC IMAGING DEVICES COMPRISING SUCH
DETECTORS

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO SE SI SK SM TR**

- **MORTEAU, Eric**
F-49600 La Chaussaire (FR)
- **SERVAGENT, Noël**
F-44240 La Chapelle Sur Erdre (FR)

(30) Priorité: **29.09.2009 FR 0956745**

(74) Mandataire: **Cabinet Plasseraud**
66, rue de la Chaussée d'Antin
75440 Paris Cedex 09 (FR)

(43) Date de publication de la demande:
08.08.2012 Bulletin 2012/32

(56) Documents cités:
FR-A1- 2 837 000 FR-A1- 2 912 837
US-A- 6 011 265 US-B1- 6 429 578

(73) Titulaires:

- **Institut Mines-Télécom**
75014 Paris (FR)
- **Université de Nantes**
44035 Nantes Cedex 1 (FR)
- **Association pour la Recherche et le Développement**
des Méthodes et Processus Industriels
(ARMINES)
75272 Paris Cedex 06 (FR)

- **BEUCHER ET AL: "Parallel ionization multiplier: A gaseous detector dedicated to the tracking of minimum ionization particles", NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION A, vol. 573, 2007, pages 294-297, XP005922008, ISSN: 0168-9002, DOI: 10.1016/j.nima.2006.10.394**
- **ALBER T ET AL: "A study of argon, neon and helium based gas mixtures for improving the spatial resolution in time projection chambers", NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION A (ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT) NETHERLANDS, vol. 349, no. 1, 15 septembre 1994 (1994-09-15), pages 56-61, XP007913185, ISSN: 0168-9002, DOI: 10.1016/0168-9002(94)90608-4**

(72) Inventeurs:

- **THERS, Dominique**
F-44119 Treillieres (FR)
- **BERNY, Romain**
F-44130 Blain (FR)
- **CARDUNER, Hervé**
F-44000 Nantes (FR)
- **DONNARD, Jérôme**
F-44000 Nantes (FR)
- **LE RAY, Patrick**
F-44800 Saint Herblain (FR)

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 2 483 909 B1

Description

[0001] La présente invention concerne un détecteur de radiations et un dispositif d'imagerie auto radiographique comprenant un tel détecteur.

[0002] L'invention concerne plus particulièrement un détecteur de radiation β .

[0003] L'intérêt des pharmacologues, médecins ou biologistes pour l'utilisation de l'autoradiographie β est l'obtention, dans un temps relativement court, d'une image précise et bien quantifiée de la répartition de la radioactivité dans un organisme entier pour la biodistribution ou dans un organe pour la réceptologie ou l'hybridation in-situ. L'utilisation d'une large palette de radioéléments émetteurs β permet, aujourd'hui, de réaliser des autoradiographies de quasiment toutes les molécules ou médicaments existants. Les biologistes peuvent également remonter à l'activité volumique en trois dimensions en superposant les différentes images de coupes obtenues.

[0004] Il existe dans l'état de la technique des dispositifs de films et d'écrans phosphores permettant de réaliser des études autoradiographiques β .

[0005] Ces deux techniques sont dites à exposition en aveugle, c'est-à-dire que l'image ne sera obtenue qu'après révélation du support. Cette révélation se fait soit par un laser pour les écrans phosphores soit par un bain chimique pour les films photographiques. Ces techniques présentent l'inconvénient de ne pas permettre de réaliser les études en temps réel.

[0006] La demande FR 2 837 000 décrit un détecteur de radiations β permettant une étude en temps réel. Ce détecteur comprend :

- une enceinte contenant un mélange gazeux de Néon et d'isobutane pour générer des électrons sous l'effet de radiations,
- une cathode par laquelle pénètrent les radiations à détecter,
- une anode pour générer des signaux en fonction d'un courant généré par le déplacement de charges au voisinage de cette anode, ces charges correspondent à des électrons dont les radiations sont directement ou indirectement à l'origine,
- des moyens de polarisation générant un champ électrique adapté pour entraîner des électrons dans une direction allant de la cathode vers l'anode,
- une structure amplificatrice, située entre la cathode et l'anode, comprenant un espace d'amplification des électrons entre une électrode d'entrée et une électrode de sortie, les électrodes d'entrée et de sortie étant configurées pour que dans l'espace d'amplification règne un premier champ électrique adapté à ce que des électrons soient générés par avalanche dans l'espace d'amplification, l'espace d'amplification débouchant sur au moins une ouverture de l'électrode de sortie, pour laisser passer au moins une partie des électrons générés par avalanche,

- un espace de dérive situé entre l'électrode de sortie et l'anode, dans lequel règne un deuxième champ électrique adapté à une diffusion, dans des directions perpendiculaires à ce champ, des électrons par diffusion sur les atomes et molécules du milieu contenu dans l'enceinte.

[0007] Le détecteur décrit dans FR 2 837 000 permet de détecter des émetteurs de basse énergie comme le tritium ^3H correspondant à un rayonnement β d'environ 18 keV avec une bonne résolution. Cependant de tel dispositif présente des signaux qui ne sont pas satisfaisants pour des émetteurs de haute énergie.

[0008] Il existe donc un besoin pour un détecteur de rayonnement β qui ne présente pas les inconvénients de l'art antérieur, en particulier qui permet une détection satisfaisante du rayonnement d'émetteurs de hautes énergies en temps réel.

[0009] On connaît, d'après le document US-6 011 265, un détecteur de radiations qui comprend notamment une enceinte, une électrode d'entrée et une électrode de sortie et où la distance entre ces deux électrodes est comprise entre 25 μm et 500 μm . Le document « *Parallel ionization multiplier : A gaseous detector dedicated to the tracking of minimum ionization particles* » de Beucher et al, divulgue un détecteur dont l'espace d'amplification présente une épaisseur comprise entre 50 μm et 125 μm .

[0010] Un but de la présente invention est de proposer un nouveau détecteur de radiations offrant des possibilités d'observation élargies et un dispositif d'imagerie auto radiographique comprenant un tel détecteur.

[0011] L'invention propose ainsi un détecteur de radiations comprenant:

- une enceinte contenant un milieu adapté pour générer des électrons sous l'effet de radiations,
- une cathode par laquelle pénètrent les radiations à détecter,
- une anode pour générer des signaux en fonction d'un courant généré par le déplacement de charges au voisinage de cette anode, ces charges correspondent à des électrons dont les radiations sont directement ou indirectement à l'origine,
- des moyens de polarisation générant un champ électrique adapté pour entraîner des électrons dans une direction allant de la cathode vers l'anode,
- une structure amplificatrice, située entre la cathode et l'anode, comprenant un espace d'amplification des électrons délimité entre une électrode d'entrée et une électrode de sortie, les électrodes d'entrée et de sortie étant configurées pour que dans l'espace d'amplification règne un premier champ électrique E1 adapté à ce que des électrons soient générés par avalanche dans l'espace d'amplification, l'espace d'amplification débouchant sur au moins une ouverture de l'électrode de sortie, pour laisser passer au moins une partie des électrons générés par avalanche,

- un espace de dérive D situé entre l'électrode de sortie et l'anode, dans lequel règne un deuxième champ électrique E2 adapté à une diffusion, dans des directions perpendiculaires à ce champ E2, des électrons par diffusion sur les atomes et molécules du milieu contenu dans l'enceinte,

où le milieu adapté pour générer des électrons sous l'effet de radiations comprend un gaz comprenant un mélange d'au moins 50% d'un gaz rare et de dioxyde de carbone, par exemple ininflammable, l'espace d'amplification est constitué d'au moins 90% en volume par ledit gaz, et que la distance (e) séparant les électrodes d'entrée (8) et de sortie (9) est supérieure ou égale à 500 μm et inférieure ou égale à 1,5 mm.

[0012] Avantageusement, l'utilisation d'un mélange gazeux de Néon et de dioxyde de carbone combiné avec un espace d'amplification d'au moins 500 microns permet d'obtenir un détecteur adapté aux émetteurs de haute énergie.

[0013] Un détecteur selon l'invention peut en outre comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons possibles :

- l'électrode d'entrée de la structure amplificatrice correspond à la cathode ;
- l'électrode d'entrée est formée d'une face au moins partiellement conductrice d'un échantillon S émetteur de radiations ;
- le milieu adapté pour générer des électrons sous l'effet de radiations comprend un gaz comprenant un mélange Néon et de dioxyde de carbone, le Néon représentant au moins 85% et au plus 95% en volume du mélange ;
- la structure amplificatrice est configurée de sorte qu'entre l'électrode d'entrée et de sortie règne un champ électrique d'au moins 2,5 kV/cm ;
- une deuxième structure amplificatrice, située entre l'espace de dérive et l'anode, comprenant une électrode d'entrée et une seconde électrode, comportant au moins un espace d'amplification des électrons, l'électrode d'entrée et la seconde électrode étant configurées pour que des électrons soient générés par avalanche dans l'espace d'amplification, l'espace de dérive débouchant sur au moins une ouverture de l'électrode d'entrée, la deuxième structure amplificatrice étant configurée de sorte que son gain soit supérieur ou égal à 5000 ;
- la seconde électrode correspond à l'anode ;
- l'espace d'amplification situé entre l'électrode d'entrée et l'électrode de sortie est constitué d'au moins 99% en volume par ledit gaz, par exemple 99.97% ;
- les électrodes d'entrée (8) et de sortie (9) sont constituées de microgrilles ayant une résolution comprise entre 500 et 2000 lpi ; et
- les microgrilles ont un paramètre de maille compris entre 30 et 50 μm .

[0014] L'invention se rapporte également à un dispositif d'imagerie auto-radiographique comprenant un détecteur et un porte-échantillon, dans lequel la cathode est constituée par un échantillon au moins partiellement conducteur disposé sur le porte échantillon.

[0015] L'invention concerne également une méthode de détermination de la position d'émission des électrons détectés par l'anode d'un détecteur qui comprend les étapes suivantes :

- détermination des coordonnées d'un point A correspondant aux interactions moyennes des électrons dans l'espace de dérive,
- détermination des coordonnées d'un point B correspondant aux interactions moyennes des électrons dans l'espace d'amplification de la structure amplificatrice,
- détermination du point d'émission comme étant le point représentant l'intersection de la droite D passant par les points A et B et le plan d'altitude de référence.

[0016] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une coupe schématique perpendiculaire à ses faces principales, d'un premier mode de réalisation d'un détecteur selon l'invention ;
- la figure 2 est une coupe schématique, dans un plan analogue à celui de la figure 1, d'une partie de l'anode du détecteur représenté sur la figure 1 ;
- la figure 3 représente schématiquement en perspective les pavés constitutifs de l'anode représentée sur la figure 2 ;
- la figure 4 représente schématiquement une vue de dessus, l'agencement des pistes croisées de l'anode représentée sur les figures 2 et 3 ;
- la figure 5 représente schématiquement le mode de connexion des pavés aux pistes de l'anode représentée sur les figures 2, 3 et 4 ;
- la figure 6 représente schématiquement le détail du multiplexage des pistes d'une anode d'un détecteur selon un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 7 illustre le principe de reconstruction de la position d'émission avec extrapolation de trajectoire,
- la figure 8 est une coupe schématique, perpendiculaire à ses faces principales, d'un mode de réalisation d'un détecteur selon l'invention.

[0017] Pour des raisons de clarté, les différents éléments représentés sur les figures ne sont pas nécessairement à l'échelle.

[0018] On entend par « émetteurs à haute énergie » au sens de l'invention un émetteur de radiation β dont l'énergie moyenne est supérieure ou égale à 100 keV.

[0019] Selon le premier mode de réalisation, représen-

té sur la figure 1, le détecteur 1 comporte une enceinte 2 aplatie avec deux faces principales 2a et 2b opposées et parallèles entre elles. Cette enceinte 2 contient un milieu adapté pour émettre des électrons primaires sous l'effet de radiations ionisantes émises par un échantillon S disposé à proximité de l'une des faces principales 2a de l'enceinte 2. Avantageusement, le milieu est constitué d'un mélange gazeux circulant dans l'enceinte 2 entre une entrée 3 et une sortie 4.

[0020] Ce mélange gazeux comprend au moins 50% d'un gaz rare et au moins 5 à 15% de dioxyde de carbone. Les molécules de dioxyde de carbone sont destinées à contrôler le processus d'amplification par avalanche.

[0021] Selon un mode de réalisation de l'invention, le mélange gazeux est choisit de manière à être ininflammable. Avantageusement, la manipulation du détecteur selon l'invention s'en trouve simplifiée.

[0022] Dans le cas particulier de la détection des particules β , ce mélange gazeux est avantageusement à une pression comprise entre 0,5 et 2 bars, par exemple entre 0,9 et 1,1 bars, et comporte un gaz rare dont la densité électronique moyenne est proche de 10 électrons par atome, comme par exemple du néon.

[0023] L'enceinte 2 renferme une cathode 5, une anode 6 et une structure amplificatrice 7.

[0024] Dans le mode de réalisation représenté à la figure 1, la cathode 5, l'anode 6 et la structure amplificatrice 7 sont parallèles entre elles et parallèles aux deux faces principales 2a, 2b de l'enceinte 2.

[0025] L'anode 6 est située à proximité de la face 2b de l'enceinte 2 opposée à celle 2a à proximité de laquelle se trouve l'échantillon S.

[0026] La structure amplificatrice 7 est située entre la cathode 5 et l'anode 6. L'espace de l'enceinte 2 situé entre la cathode 5 et la structure amplificatrice 6 constitue un espace de conversion C. Les radiations ionisantes émises par l'échantillon S pénètrent dans l'espace de conversion C par la cathode 5.

[0027] L'espace de l'enceinte 2 situé entre la structure amplificatrice 7 et l'anode 6 constitue un espace de diffusion D.

[0028] La structure amplificatrice 7 comporte une électrode d'entrée 8 et une électrode de sortie 9 sensiblement parallèles à la cathode 5 et l'anode 6 et délimitant un espace d'amplification A.

[0029] Selon un mode de réalisation de l'invention, l'espace d'amplification situé entre l'électrode d'entrée et l'électrode de sortie est constitué d'au moins 99% en volume par ledit gaz, par exemple 99.97%.

[0030] Le document US 6 011 265 présente un compteur à trou. Ce type de microstructure souffre d'une limitation intrinsèque provenant de la densité limitée de canaux d'amplifications. Ainsi ces types de microstructures présentent un étage d'amplification principalement composé de matériaux isolants et solides permettant de délimiter les trous au sein desquels sont confinées les avalanches.

[0031] De tels détecteurs de radiation ne peuvent en

aucun cas être utilisés pour générer des électrons par un autre principe que celui des avalanches. Ce faisant, ils ne peuvent être utilisés par exemple pour générer les électrons issus de l'interaction de la particule ionisante avec le gaz comme selon la présente invention.

[0032] Des moyens de polarisation 10 sont reliés à la cathode 5, à l'anode 6 et aux électrodes d'entrée 8 et de sortie 9. Ils permettent de porter la cathode 5 à un potentiel V1, l'anode 6 à un potentiel V2, l'électrode d'entrée 8 à un potentiel V3 et l'électrode de sortie 9 à un potentiel V4.

[0033] Selon un mode de réalisation de l'invention, ces potentiels vérifient $V2 > V4 > V3 > V1$.

[0034] Dans un mode de réalisation de l'invention, les électrodes d'entrée 8 et de sortie 9 sont espacées d'une distance e supérieure ou égale à 500 μm et inférieure ou égale à 1.5 mm.

[0035] L'espace de diffusion D a une dimension perpendiculaire aux électrodes d'entrée 8 et de sortie 9 comprise entre 2 mm et 3 cm, par exemple égale à 2 cm.

[0036] Selon un mode de réalisation de l'invention, l'anode 6 est reliée à la masse. La cathode 5, l'électrode d'entrée 8 et l'électrode de sortie 9 sont portées à des potentiels négatifs.

[0037] Les moyens de polarisation 10 permettent ainsi de créer des champs électriques E1, E2, E3 respectivement dans l'espace de conversion C dans l'espace d'amplification A et dans l'espace de diffusion D. Les moyens de polarisation 10 entraînent les électrons de la cathode 5 vers l'anode 6.

[0038] Selon un mode de réalisation, l'électrode d'entrée 8 de la structure amplificatrice 7 est confondue avec la cathode 5. L'électrode d'entrée 8 est formée d'une face au moins partiellement conductrice de l'échantillon S.

[0039] Selon un mode de réalisation, la cathode 5 peut être constituée d'une plaque mince électriquement conductrice d'une épaisseur sensiblement égale à 5 μm .

[0040] Selon un mode de réalisation de l'invention, la cathode 5 est constituée d'un adhésif conducteur, par exemple un adhésif en cuivre, collé sur une face d'une lame de verre pour microscope. L'échantillon S étant disposé sur la face opposée de la lame de microscope.

[0041] Les électrodes d'entrée 8 et de sortie 9 peuvent être constituées de microgrilles de type MICROMEGAS.

[0042] Avantageusement, les microgrilles présentent une épaisseur inférieure ou égale à 10 μm , par exemple égale à 5 μm permettant des transitions de champs électriques très rapides.

[0043] Il existe principalement deux types de microgrilles : les microgrilles électroformées et les microgrilles gravées par procédé chimique.

[0044] Les microgrilles électroformées sont à l'origine utilisées comme filtres de haute précision mais leurs bonnes caractéristiques, en particulier leurs motifs fins, réguliers et de faible épaisseur, en font des candidates très intéressantes pour une utilisation dans les détecteurs selon l'invention. Elles sont généralement en nickel d'une épaisseur voisine de 5 μm et possèdent des trous carrés

de 39 μm de côté séparés par des barreaux de 11 μm qui leur confèrent un pas de 51 μm pour une grille de 500 lpi (Line per Inch). Il existe cependant toutes sortes de géométries et de tailles allant de 100 à 2 000 lpi avec des tailles allant de 7 à 11 pouces. Le procédé d'électroformage ne permet cependant pas de contrôler précisément l'épaisseur de la microgrille en particulier sur les bords où elle peut varier du simple au double. Cependant, pour le centre de la microgrille, l'épaisseur est bien maîtrisée.

[0045] Les microgrilles gravées par procédé chimique ont une surface de 25x25 cm^2 et une épaisseur de 5 μm , elles possèdent des trous circulaires de 30 μm de diamètre disposés en mailles triangulaires équilatérales au pas de 60 μm . Le procédé de fabrication autorise l'incorporation directe de l'espaceur isolant à la grille sous la forme de plots en Kapton™ de 80 μm de diamètre disposés tous les 3 mm. Du fait de leur faible surface, ils permettent de réduire drastiquement la zone morte entre la grille et le support à environ 0,05 % de la surface de la grille. L'avantage de ce procédé de gravure chimique est la maîtrise de l'épaisseur de la grille sur toute sa surface contrairement aux grilles électroformées.

[0046] Selon un mode de réalisation, les électrodes d'entrée 8 et de sortie 9 sont respectivement chacune constituées d'une plaque mince électriquement conductrice, de faible épaisseur et percée d'ouvertures de faibles tailles. A titre d'exemple, les ouvertures ont une forme de carré de 35 μm de côté espacées les unes des autres avec un pas de 50 μm qui correspond sensiblement à un nombre d'ouverture par pouce linéaire de 500 lpi. On peut aussi utiliser les électrodes d'entrée 8 et de sortie 9 de 2 500 lpi ce qui correspond sensiblement à des ouvertures de 8 μm espacées de 10 μm . De telles électrodes d'entrée 8 et de sortie 9 forment chacune une grille, qui compte-tenu de la faible taille des ouvertures, peut être désignée « microgrille ». De telles microgrilles ont été décrites par exemple dans le document EP855086.

[0047] La distance e séparant les électrodes d'entrée 8 et de sortie 9 est supérieure ou égale à 500 μm et inférieure ou égale à 1,5 mm.

[0048] En effet, les contraintes associées aux électrons de haute énergie sont différentes de celles associées aux électrons de basse énergie. Les électrons de haute énergie parcourent des distances beaucoup plus importantes dans le gaz. Leur parcours pratique R_p est relativement important puisqu'il est de l'ordre de 20 cm. Un électron de 300 keV parcourra près d'un mètre dans du gaz avant d'être arrêté.

[0049] Les inventeurs ont mesuré l'altitude de la première interaction et l'énergie déposée lors de la première interaction avec le gaz pour du ^{46}SC ($E_{\text{max}} = 356 \text{ keV}$) et du ^{32}P ($E_{\text{max}} = 1710 \text{ keV}$). L'émission est supposée isotrope dans l'espace. La première interaction engendre un dépôt d'énergie moyen de 49,83 eV pour le phosphore et de 61,93 eV pour le scandium à une altitude respective de 589 et 157 μm . Ces interactions ont lieu à des dis-

ces importantes du point d'émission ce qui se traduit par la création de peu de paires électron-ion dans l'espace d'amplification 7 au contact de la source S.

[0050] Pour gagner en efficacité et en statistique de création de paires, les inventeurs proposent d'utiliser un espace d'amplification relativement important.

[0051] La perte d'énergie d'un électron de 100 keV traversant 1 cm de gaz est de 3,5 keV et celle d'un électron de 300 keV est de 1,9 keV. Cela se traduit par la création respective de 97 et 52 paires électron-ion le long de leur parcours. La création de charges d'ionisation primaire le long de la trajectoire peut alors être mise à profit pour caractériser la trace de l'électron dans le détecteur par une méthode de suivi de la trajectoire selon l'invention.

[0052] Les potentiels V3 et V4 des électrodes d'entrée 8 et de sortie 9 sont choisis de manière à ce que dans l'espace d'amplification A règne un champ électrique E2 adapté à ce que des électrons soient générés par avalanche dans l'espace d'amplification A.

[0053] Le phénomène d'avalanche électronique se produit lorsque des électrons arrivent dans une zone de fort champ électrique typiquement de quelques dizaines de kV/cm. L'énergie qu'ils vont acquérir entre deux collisions va devenir suffisamment importante pour qu'ils produisent à leur tour des interactions ionisantes. Les électrons d'ionisation ainsi créés vont alors être accélérés et donner lieu à d'autres ionisations.

[0054] Dans le cas de microgrilles de type MICROMEGAS, il est possible de considérer que les lignes de champ sont parallèles. Par conséquent, l'augmentation du nombre d'électrons dn après un parcours dx se traduit par :

$$dn = n\alpha_T dx$$

où :

- n : nombre d'électrons à une position donnée,
- α_T : premier coefficient de Townsend défini comme étant la probabilité de faire une interaction ionisante par unité de longueur : $\alpha_T = 1/\lambda$,
- λ : libre parcours moyen (distance moyenne que doit parcourir un électron avant de faire une interaction ionisante).

En intégrant sur la distance x parcourue, on obtient :

$$n = n_0 e^{\alpha_T x}$$

où :

- n_0 : nombre initial d'électrons créés par l'ionisation,
- x : distance parcourue.

Le gain G du détecteur est alors défini comme le rapport

entre le nombre d'électrons présents après une longueur x sur le nombre d'électrons initial. Ce qui se traduit par :

$$G = \frac{n}{n_0} = e^{\alpha_T x}$$

Pour un mélange gazeux donné α_T dépend uniquement de la valeur du champ électrique et de la pression du gaz. Il est nécessaire que α_T soit alors plus grand que le coefficient d'attachement électronique η_e pour constater l'amplification. α_T et η_e représentent respectivement le nombre de paires électron-ion créées et le nombre d'électrons recapturés par unité de longueur. Les inventeurs ont observé que le champ électrique doit être supérieur à 2,5 kV/cm dans un mélange gazeux de type Néon+10% CO₂ pour amorcer le phénomène d'amplification.

[0055] Comme représenté sur la figure 2, l'anode 6 présente une structure multicouche planaire. Elle comporte une couche externe 15 et deux couches internes 16, et un plan de masse 17, le tout reposant sur un substrat 28 isolant.

[0056] Comme représenté sur la figure 3, la couche externe 16 est segmentée en anodes élémentaires ou pavés 15 formant un réseau bidimensionnel en damier dont les rangées sont alignées selon des axes de coordonnées X et Y. Chaque pavé 15 forme un carré de moins d'un millimètre de côté, par exemple de 650 μm . Les pavés 15 sont alternativement affectés à la lecture de l'une ou l'autre des coordonnées X et Y. Deux pavés 15 voisins ne mesurent pas la position selon la même coordonnée. L'espace entre les pavés 15 est le plus faible possible, mais doit permettre de conserver une parfaite isolation entre eux. Avantagusement, cet espace est inférieur ou égal à 100 μm .

[0057] Comme représenté sur la figure 4, les couches internes de l'anode 6 sont formées de pistes 18 conductrices croisées. Sur l'une des couches internes 16, les pistes 18 s'étendent parallèlement à des premières rangées de pavés 15. Sur l'autre des couches internes 16, les pistes 18 s'étendent parallèlement à des deuxième rangées de pavés 15, perpendiculaires aux premières. Selon cet exemple, les pavés 15 d'une rangée associée à la coordonnée X sont situés sur une couche interne différente de celle reliée aux pavés disposés sur une rangée correspondant à la coordonnée Y. Les pistes 18 sont séparées des pavés 15 par un isolant à travers lequel sont percés des trous de liaison 19 (connus de l'homme du métier sous l'expression anglo-saxonne « via hole »), tapissés d'un matériau conducteur électrique afin d'assurer la connexion électrique des pavés 15 avec les pistes 18 de l'une ou l'autre des couches internes 16 (voir figure 2). Les trous de liaison 19 ont par exemple un diamètre de 100 microns.

[0058] Les pistes 18 sont séparées les unes des autres d'une distance la plus faible possible tout en conservant une parfaite isolation entre elles. Le fait de disposer les

pistes en couches superposées isolées les unes des autres permet de gagner en intégration tout en conservant la qualité d'isolation requise.

[0059] Les pavés 15, grâce aux pistes 18, sont reliés à des amplificateurs rapides 20 eux-mêmes reliés, via des voies électroniques de lecture, à des moyens électroniques de traitement 21 (voir figure 4).

[0060] Pour limiter le nombre de voies électroniques de lecture, et par conséquent le coût du détecteur 1, plusieurs pavés 15 appartenant à une même rangée peuvent être reliés à une même piste 18. Le nombre de pavés 15 séparant deux pavés connectés entre eux dépend de leur taille et de la technologie utilisée pour les réaliser.

[0061] A titre d'exemple, ainsi que représenté sur la figure 5, chaque piste 18 relie de manière périodique, dans une rangée, un pavé 15 sur quatre. Comme deux pavés voisins sont reliés respectivement à des pistes 18 s'étendant selon les axes X et Y, une piste X1 relie deux pavés espacés de trois pavés, ces trois pavés comprenant deux pavés voisins des deux pavés reliés à la piste X1, eux-mêmes reliés respectivement aux piste Y1 et Y7, séparés par un pavé relié à une piste X2, cet agencement étant reproduit sur l'ensemble du damier constitué des pavés 15 (sur la figure 5, deux pavés 15 connectés entre eux sont représentés par des motifs identiques).

[0062] Selon un mode de réalisation, l'anode 9 peut être divisée en 32 400 pixels élémentaires de 170x170 μm^2 réalisés par découpe laser dans un plan de cuivre. Cette technologie permet de réduire la distance isolante interpiste à 30 μm contrairement à la gravure chimique dont la distance isolante minimale est de 75 μm . Le pas des pixels est ainsi de 200 μm dans les deux directions X et Y. Les pistes de lecture auxquelles sont reliés les pixels sont sur deux plans différents. Le plancher comporte 128 pistes en X et 128 pistes en Y. Elles sont placées diagonalement par rapport aux pixels comme le montre la figure 6 et multiplexées géométriquement à la façon d'un échiquier. Un pixel sur deux est relié à une piste X et les autres à une piste Y. Pour une direction de lecture considérée, 64 pistes sont lues d'un côté et les 64 autres sont lues de l'autre côté. Chaque pixel est relié à sa piste par un trou métallisé réalisé par perçage laser. Avec le placement des pistes en diagonale par rapport aux pixels, le pas de lecture des pistes est ainsi de 282,84 μm . Ce pas de pixelisation est l'une des meilleures granularités réalisées à ce jour au vue de la surface pour ce type de détecteur gazeux.

[0063] La planéité de l'anode est assurée par un collage sur un plan de référence en aluminium de 8 mm d'épaisseur.

[0064] En référence à la figure 1, lorsqu'une particule ionisante I est émise par l'échantillon S et qu'elle pénètre dans un détecteur 1 par la face 2a de celui-ci à l'opposé de celle voisine de l'anode 6, elle traverse l'espace de conversion C dans laquelle elle interagit avec le mélange gazeux et génère des électrons primaires. Ces électrons primaires, sous l'effet du champ électrique E1 gagnent l'espace d'amplification A dans lequel ils sont multipliés

par le phénomène d'avalanche électronique pour former un nuage d'électrons 23.

[0065] Une partie de ce nuage d'électrons 23 traverse ensuite l'électrode de sortie 9 et pénètre dans l'espace de diffusion D. Le champ électrique E3 régnant dans l'espace de diffusion D est modéré, par exemple inférieur ou égal à 10 kV/cm et propice à un étalement latéral du nuage d'électrons 23 par diffusion des électrons qui le constitue sur les atomes et molécules du gaz.

[0066] Le suivi d'une particule β consiste, à partir du parcours de l'électron dans le gaz, à remonter par une reconstitution géométrique au point d'émission dans l'échantillon S. Cette méthode de suivi suppose que la trajectoire des électrons de haute énergie s'effectue en ligne droite sans déviation d'angle importante et que les coordonnées de la droite extrapolant le parcours de l'électron puisse être déterminé à partir de deux points caractéristiques de la trajectoire mesurée. Le premier point se situant dans l'espace d'amplification A et le second dans l'espace de diffusion D.

[0067] Comme explicité ci-dessus, la perte d'énergie d'un électron de 100 keV traversant 1 cm de gaz est d'environ 3,5 keV. Cette perte d'énergie est négligeable devant l'énergie incidente de la particule β . De ce fait, il peut être considéré que la particule ne sera pas ou très peu déviée en traversant 1 cm de gaz et que sa trajectoire sera une ligne droite.

[0068] Comme expliqué précédemment, un électron qui arrive sur l'anode aura traversé l'espace d'amplification A et l'espace de diffusion D. Les deux espaces différents traversés par l'électron permettent de remonter aux deux points caractéristiques de la droite constituant la trajectoire de l'électron.

[0069] Le premier point correspondant au point moyen des interactions dans l'espace d'amplification A, est déterminé à partir des interactions de l'électron dans l'espace d'amplification A. La faible perte d'énergie associée à la petite épaisseur de gaz traversé permet de déterminer la position moyenne dans cet espace en utilisant une méthode dite du barycentre.

[0070] Le second point de la droite extrapolant le parcours de l'électron, est déterminé à partir des interactions de l'électron dans l'espace de diffusion D. Le fait que la particule dépose son énergie de manière quasi continue dans le milieu qu'elle traverse, permet de considérer que l'altitude moyenne des interactions se situe au milieu de la hauteur de l'espace de diffusion.

[0071] Cela permet alors de déterminer le second point caractéristique de la droite.

[0072] La figure 7 illustre le principe de reconstitution d'émission par la méthode d'extrapolation de la trajectoire. La courbe TR représentée sur la figure 7 représente la trajectoire réelle d'un électron projetée dans la direction X, et la droite TC la droite représentant la trajectoire calculée de l'électron projetée dans la direction X.

[0073] La moyenne de la distribution spatiale de la charge dans l'espace de diffusion D nous donne le point A correspondant à l'altitude moyenne des interactions

dans cet espace de diffusion D. La même méthode appliquée pour l'espace d'amplification A nous conduit au point B. La méthode de reconstruction par extrapolation géométrique consiste alors à assimiler la trajectoire de la particule β à une droite TD passant par ces deux points. La position d'émission extrapolée est alors donnée comme le point représentant l'intersection de cette droite avec la droite correspondant à une altitude nulle. De la même manière on peut évaluer la position d'émission dans la direction Y.

[0074] Nous obtenons alors :

$$X_{em} = X_{mA} - Z_{cA} \frac{X_{mA} - X_{mD}}{Z_{cA} - Z_{cD}}$$

et

$$Y_{em} = Y_{mA} - Z_{cA} \frac{Y_{mA} - Y_{mD}}{Z_{cA} - Z_{cD}}$$

avec $(X_{em}, Y_{em}, 0)$ les coordonnées du point d'émission, et (X_{mA}, Y_{mA}, Z_{cA}) les coordonnées du point correspondant à la moyenne de la distribution spatiale de charge dans l'espace d'amplification A, (X_{mD}, Y_{mD}, Z_{cD}) les coordonnées du point correspondant à la moyenne de la distribution spatiale de charge dans l'espace de diffusion D,

avec dans le cas du ^{46}Sc , d'un espace d'amplification de 50 μm et d'un espace de dérive de 1 cm :

- $Z_{cA} = 123 \mu\text{m}$,
- $Z_{cD} = 5\,500 \mu\text{m}$

[0075] Ces coefficients sont définis en fonction de l'émetteur en particulier pour la composante de l'espace d'amplification, et de la géométrie.

[0076] Selon un mode de réalisation représenté à la figure 8, le détecteur comprend en outre une deuxième structure amplificatrice 30 située entre l'espace de diffusion D et l'anode 6. Cette deuxième structure amplificatrice 30 comprenant une électrode d'entrée 31 et une électrode de sortie 32, par exemple confondues avec l'anode 6, comportant au moins un espace d'amplification A2 des électrons. L'électrode d'entrée 31 et l'électrode de sortie 32 étant configurées pour que les électrons soient générés par avalanche dans l'espace d'amplification A2, l'espace de diffusion D débouchant sur au moins une ouverture de l'électrode d'entrée 31, la deuxième structure amplificatrice 30 étant configurée de sorte que son gain soit supérieur ou égal à 5 000.

[0077] La distance e2 séparant les électrodes d'entrée 31 et de sortie 32 de la deuxième structure amplificatrice 30 est supérieure ou égale à 100 μm et inférieure ou égale à 200 μm par exemple égale à 125 μm .

[0078] Le signal issu de l'ionisation primaire dans l'es-

pace de diffusion doit être suffisamment amplifié pour être extrait du bruit électronique. Les inventeurs ont observé qu'il est avantageux d'avoir un gain de la deuxième structure amplificatrice au moins égal à 4 400 de préférence au moins égal à 5 000, pour pouvoir extraire le signal dû aux ionisations dans l'espace de diffusion quel que soit la direction de la particule incidente et quelque soit le plan de projection considéré pour un électron de 100 keV. De la même manière, les inventeurs ont observé que dans le cas d'une particule β , partant avec une énergie de 300 keV, le gain minimum à appliquer dans la deuxième structure amplificatrice pour ne pas privilégier les directions par rapport aux autres est de 8 000, de préférence de 9 500. A titre d'exemple, les inventeurs ont considéré un électron de 100 keV traversant l'espace de diffusion avec un angle de 45° suivant la direction X. En supposant sa trajectoire rectiligne, l'électron traverse alors 5,7 mm le long de l'axe de lecture X ce qui correspond à une perte d'énergie de 2 keV. Cela engendre la création de 55 paires d'électro-ions. En supposant un pas de lecture du plancher de 282,84 micromètres, le signal s'étale alors sur 20 pistes en supposant une transparence parfaite des microgrilles, la charge récoltée par piste et le gain minimum à appliquer dans ce cas sont donnés par :

$$q_{\text{piste}}(e^-) = \text{gain} \times \frac{\text{nombre de paires}}{\text{nombre de pistes}}$$

$$\text{gain}_{\text{min}} = \frac{\text{nombre de pistes}}{\text{nombre de paires}} \times 2 \times \text{seuil}$$

[0079] Le facteur 2 provient du fait que le nuage électronique s'étale sur un plancher de pixels multiplexés. Ainsi la moitié de la charge est récoltée par les pistes de lecture en X et l'autre moitié par les pistes de lecture en Y.

[0080] Pour un seuil par piste de 6 000 électrons, cela entraîne un gain minimum de 4 400 dans l'espace d'amplification au contact de l'anode pour extraire le signal du bruit électronique. Dans le cas d'un électron de 300 keV le gain minimum sera de 8 000 et dans le cas d'un électron de 1 MeV, le gain minimum sera de 32 000.

[0081] L'invention ne se limite pas aux modes de réalisations décrits et ne sera pas interprétée de façon limitative, et englobe tout mode de réalisation équivalent. En particulier un détecteur selon l'invention peut comprendre plus de deux structures amplificatrices.

Revendications

1. Détecteur de radiations comprenant :

- une enceinte (2) contenant un milieu adapté pour générer des électrons sous l'effet de radiations,

- une cathode (5) par laquelle pénètrent les radiations à détecter,

- une anode (6) pour générer des signaux en fonction d'un courant généré par le déplacement de charges au voisinage de cette anode (6), ces charges correspondent à des électrons dont les radiations sont directement ou indirectement à l'origine,

- des moyens de polarisation (10) générant un champ électrique adapté pour entraîner des électrons dans une direction allant de la cathode (5) vers l'anode (6),

- une structure amplificatrice (7), située entre la cathode (5) et l'anode (6), comprenant un espace d'amplification (A) des électrons délimité entre une électrode d'entrée (8) et une électrode de sortie (9), les électrodes d'entrée (8) et de sortie (9) étant configurées pour que dans l'espace d'amplification règne un premier champ électrique (E2) adapté à ce que des électrons soient générés par avalanche dans l'espace d'amplification, l'espace d'amplification débouchant sur au moins une ouverture (12) de l'électrode de sortie (9), pour laisser passer au moins une partie des électrons générés par avalanche, - un espace de diffusion (D) situé entre l'électrode de sortie (9) et l'anode (6), dans lequel règne un deuxième champ électrique (E3) adapté à une diffusion, dans des directions perpendiculaires à ce champ (E3), des électrons par diffusion sur les atomes et molécules du milieu contenu dans l'enceinte (2),

le milieu adapté pour générer des électrons sous l'effet de radiations comprenant un gaz comprenant un mélange d'au moins 50% d'un gaz rare et de dioxyde de carbone, l'espace d'amplification étant constitué d'au moins 90% en volume par ledit gaz, **caractérisé en ce que** la distance (e) séparant les électrodes d'entrée (8) et de sortie (9) est supérieure à 500 μm et inférieure ou égale à 1,5 mm.

2. Détecteur selon la revendication 1, dans lequel l'électrode d'entrée de la structure amplificatrice (7) correspond à la cathode (5).

3. Détecteur selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel l'électrode d'entrée (8) est formée d'une face au moins partiellement conductrice d'un échantillon (S) émetteur de radiations.

4. Détecteur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le milieu adapté pour générer des électrons sous l'effet de radiations comprend un gaz comprenant un mélange Néon et de dioxyde de carbone, le Néon représentant au moins 85% et au plus 95% en volume du mélange.

5. Détecteur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la structure amplificatrice est configurée de sorte qu'entre l'électrode d'entrée et de sortie règne un champ électrique d'au moins 2,5 kV/cm.
6. Détecteur selon l'une des revendication précédentes, comprenant en outre une deuxième structure amplificatrice (30), située entre l'espace de diffusion (D) et l'anode (6), comprenant une seconde électrode d'entrée (31) et une seconde électrode de sortie (32), comportant au moins un espace d'amplification (A2) des électrons, la seconde électrode d'entrée (31) et la seconde électrode de sortie (32) étant configurées pour que des électrons soient générés par avalanche dans l'espace d'amplification (A2), l'espace de diffusion (D) débouchant sur au moins une ouverture de l'électrode d'entrée (31), la deuxième structure amplificatrice étant configurée de sorte que son gain soit supérieur ou égal à 5000.
7. Détecteur selon la revendication 6, dans lequel la seconde électrode de sortie (32) correspond à l'anode (6).
8. Détecteur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les électrodes d'entrée (8) et de sortie (9) sont constituées de microgrilles ayant une résolution comprise entre 500 et 2000 lpi (entre 19,7 lignes par mm et 78,7 lignes par mm).
9. Détecteur selon la revendication 8, dans lequel les microgrilles ont un paramètre de maille compris entre 30 et 50 μm .
10. Dispositif d'imagerie auto-radiographique comprenant un détecteur selon l'une des revendications précédentes et un porte-échantillon, dans lequel la cathode est constituée par un échantillon au moins partiellement conducteur disposé sur le porte échantillon.
11. Méthode de détermination de la position d'émission des électrons détectés par l'anode d'un détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, comprenant les étapes suivantes :

détermination des coordonnées d'un point A correspondant aux interactions moyenne des électrons dans l'espace de diffusion (D),
 détermination des coordonnées d'un point B correspondant aux interactions moyenne des électrons dans l'espace d'amplification (A) de la structure amplificatrice (7),

- détermination du point d'émission comme étant le point représentant l'intersection de la droite (TC) passant par les points A et B et le plan d'altitude de référence.

Patentansprüche

1. Strahlungsdetektor, umfassend:

- 5 - ein Gehäuse (2), welches ein Medium enthält, welches dazu eingerichtet ist, Elektronen unter Strahlungseinwirkung zu erzeugen,
- 10 - eine Kathode (5), durch welche die zu detektierenden Strahlungen hindrchtreten,
- 15 - eine Anode (6) zum Erzeugen von Signalen als Funktion eines durch die Verlagerung von Ladungen in der Nachbarschaft dieser Anode (6) erzeugten Stroms, wobei diese Ladungen Elektronen entsprechen, von welchen diese Strahlungen ursprünglich direkt oder indirekt stammen,
- 20 - Mittel zur Polarisierung (10), welche ein elektrisches Feld erzeugen, welches dazu eingerichtet ist, Elektronen in eine Richtung zu beschleunigen, welche von der Kathode (5) zu der Anode (6) verläuft,
- 25 - eine Verstärkerstruktur (7), welche zwischen der Kathode (5) und der Anode (6) angeordnet ist, umfassend einen Verstärkerraum (A) für Elektronen, welcher zwischen einer Eingangselektrode (8) und einer Ausgangselektrode (9) abgegrenzt ist, wobei die Eingangselektrode (8) und die Ausgangselektrode (9) derart eingerichtet sind, dass in dem Verstärkerraum ein erstes elektrisches Feld (E2) herrscht, welches derart eingerichtet ist, dass Elektroden durch eine Lawine in dem Verstärkerraum erzeugt werden, wobei der Verstärkerraum an wenigstens einer Öffnung (12) der Ausgangselektrode (9) mündet, um wenigstens einen Teil der durch die Lawine erzeugten Elektronen passieren zu lassen,
- 30 - einen Diffusionsraum (D), welcher zwischen der Ausgangselektrode (9) und der Anode (6) angeordnet ist, in welchem ein zweites elektrisches Feld (E3) herrscht, welches für eine Diffusion in Richtungen senkrecht zu diesem Feld (E3) von Elektroden eingerichtet ist, durch Diffusion an den Atomen und Molekülen des in dem Behälter (2) enthaltenen Mediums,

wobei das Medium, welches dazu eingerichtet ist, Elektroden unter Strahlungseinwirkung zu erzeugen, ein Gas umfasst, welches eine Mischung aus wenigstens 50% von einem Edelgas und Kohlenstoffdioxid umfasst, wobei der Verstärkerraum zu wenigstens 90 Volumen-% durch das Gas gebildet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abstand (e), welcher die Eingangselektrode (8) und Ausgangselektrode (9) trennt, größer als 500 μm und kleiner oder gleich 1,5 mm ist.

2. Detektor nach Anspruch 1, wobei die Eingangselektrode der Verstärkerstruktur (7) der Kathode (5) ent-

spricht.

3. Detektor nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die Eingangselektrode (8) durch eine wenigstens teilweise leitfähige Fläche einer Probe (S) gebildet ist, welche Strahlungen emittiert. 5
4. Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Medium, welches dazu eingerichtet ist, Elektronen unter Strahlungseinwirkung zu erzeugen, ein Gas umfasst, welches eine Mischung aus Neon und Kohlenstoffdioxid umfasst, wobei das Neon wenigstens 85 und höchstens 95 Volumen-% der Mischung darstellt. 10
5. Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Verstärkerstruktur derart eingerichtet ist, dass zwischen der Eingangselektrode und der Ausgangselektrode ein elektrisches Feld von wenigstens 2,5 kV/cm herrscht. 15
6. Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend eine zweite Verstärkerstruktur (30), welche zwischen dem Diffusionsraum (D) und der Anode (6) angeordnet ist, umfassend eine zweite Eingangselektrode (31) und eine zweite Ausgangselektrode (32), umfassend wenigstens einen Verstärkerraum (A2) für Elektronen, wobei die zweite Eingangselektrode (31) und die zweite Ausgangselektrode (32) derart eingerichtet sind, dass durch eine Lawine in dem Verstärkerraum (A2) Elektronen erzeugt werden, wobei der Diffusionsraum (D) an wenigstens einer Öffnung der Eingangselektrode (31) mündet, wobei die zweite Verstärkerstruktur derart eingerichtet ist, dass ihre Verstärkung größer oder gleich 5000 ist. 20
7. Detektor nach Anspruch 6, wobei die zweite Ausgangselektrode (32) der Anode (6) entspricht. 25
8. Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Eingangselektrode (8) und Ausgangselektrode (9) aus Mikrogittern gebildet sind, welche eine Auflösung aufweisen, welche zwischen 500 und 2000 lpi beträgt (zwischen 19,7 Linien pro mm und 78,7 Linien pro mm). 30
9. Detektor nach Anspruch 8, wobei die Mikrogitter einen Maschenparameter aufweisen, welcher zwischen 30 und 50 μm beträgt. 35
10. Vorrichtung zur auto-radiografischen Bildgebung, umfassend einen Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche und einen Probenenträger, wobei die Kathode durch eine wenigstens teilweise leitfähige Probe gebildet ist, welche auf dem Probenenträger angeordnet ist. 40

11. Verfahren zum Bestimmen der Emissionsposition von durch eine Anode eines Detektors nach einem der Ansprüche 1 bis 9 detektierten Elektronen, umfassend die folgenden Schritte: 45

Bestimmen der Koordinaten eines Punkts A, welcher den mittleren Interaktionen von Elektronen in dem Diffusionsraum (D) entspricht, Bestimmen von Koordinaten eines Punkts B, welcher den mittleren Interaktionen von Elektronen in dem Verstärkungsraum (A) der Verstärkerstruktur (7) entspricht,

- Bestimmen des Emissionspunkts als den Punkt, welcher den Schnittpunkt der Geraden (TC) repräsentiert, welche durch die Punkte A und B und die Referenz-Höheebene läuft.

Claims

1. Radiation detector comprising:

- a chamber (2) containing an environment adapted for generating electrons under the effect of radiations,
- a cathode (5) by which radiations to be detected enter,
- an anode (6) for generating signals according to a current generated by the movement of charges near this anode (6), these charges correspond to electrons from which the radiations directly or indirectly originate,
- polarisation means (10) generating an electrical field adapted for leading electrons in a direction going from the cathode (5) to the anode (6),
- an amplifying structure (7), situated between the cathode (5) and the anode (6), comprising a space for amplifying (A) electrons, delimited between an input electrode (8) and an output electrode (9), the input electrodes (8) and output electrodes (9) being configured such that in the amplification space, a first electrical field (E2) prevails, adapted such that electrons are generated by flooding into the amplification space, the amplification space leading to at least one opening (12) of the output electrode (9), to let at least some of the electrons generated by flooding pass,
- a diffusion space (D) situated between the output electrode (9) and the anode (6), wherein a second electrical field (E3) prevails, adapted to a diffusion, in directions perpendicular to this field (E3), of electrons by diffusion on atoms and molecules of the environment contained in the chamber (2),

the environment adapted for generating electrons under the effect of radiations comprising a gas, comprising a mixture of at least 50% of a rare gas and of carbon dioxide, the amplification space being constituted of at least 90% by volume by said gas, **characterised in that** the distance (e) separating the input electrodes (8) and output electrodes (9) is greater than 500 μ m and less than or equal to 1.5mm.

2. Detector according to claim 1, wherein the input electrode of the amplifying structure (7) corresponds to the cathode (5). 10
3. Detector according to one of claims 1 or 2, wherein the input electrode (8) is formed of a face, at least partially conductive, of a radiation-emitting sample (S). 15
4. Detector according to one of the preceding claims, wherein the environment adapted for generating electrons under the effect of radiations comprises a gas, comprising a Neon and carbon dioxide mixture, the Neon representing at least 85% and at the most, 95% by volume of the mixture. 20
5. Detector according to one of the preceding claims, wherein the amplifying structure is configured such that between the input electrode and output electrode, an electrical field of at least 2.5kV/cm prevails. 25
6. Detector according to one of the preceding claims, further comprising a second amplifying structure (30), situated between the diffusion space (D) and the anode (6), comprising a second input electrode (31) and a second output electrode (32), comprising at least one space for amplifying (A2) electrons, the second input electrode (31) and the second output electrode (32) being configured such that electrons are generated by flooding in the amplification space (A2), the diffusion space (D) leading to at least one opening of the input electrode (31), the second amplifying structure being configured such that the gain thereof is greater than or equal to 5000. 30
7. Detector according to claim 6, wherein the second output electrode (32) corresponds to the anode (6). 35
8. Detector according to one of the preceding claims, wherein the input electrodes (8) and output electrodes (9) are constituted of microgrids having a resolution of between 500 and 2000 lpi (between 19.7 lines per mm and 78.7 lines per mm). 40
9. Detector according to claim 8, wherein the microgrids have a mesh parameter of between 30 and 50 μ m. 45
10. Autoradiographic imaging device comprising a de- 50

tector according to one of the preceding claims and a sample holder, wherein the cathode is constituted by a sample, at least partially conductive, disposed on the sample holder.

11. Method for determining the position for emitting electrons detected by the anode of a detector according to any one of claims 1 to 9, comprising the following steps: 55

- determining the coordinates of a point A corresponding to the average interactions of the electrons in the diffusion space (D),
- determining the coordinates of a point B corresponding to the average interactions of the electrons in the amplification space (A) of the amplifying structure (7),
- determining the emission point as being the point representing the intersection of the straight line (TC) passing through the points A and B and the reference altitude plane.

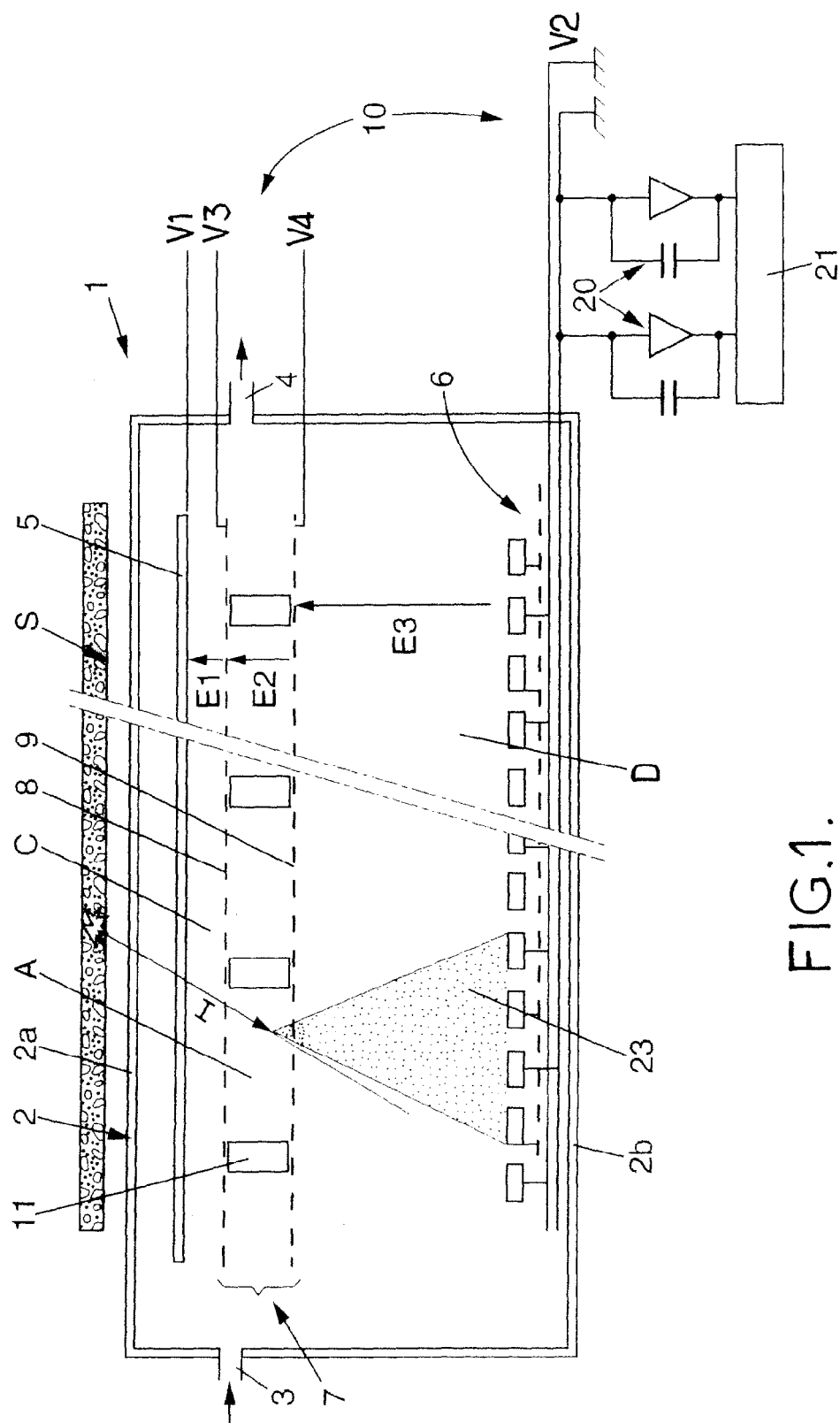


FIG.2.

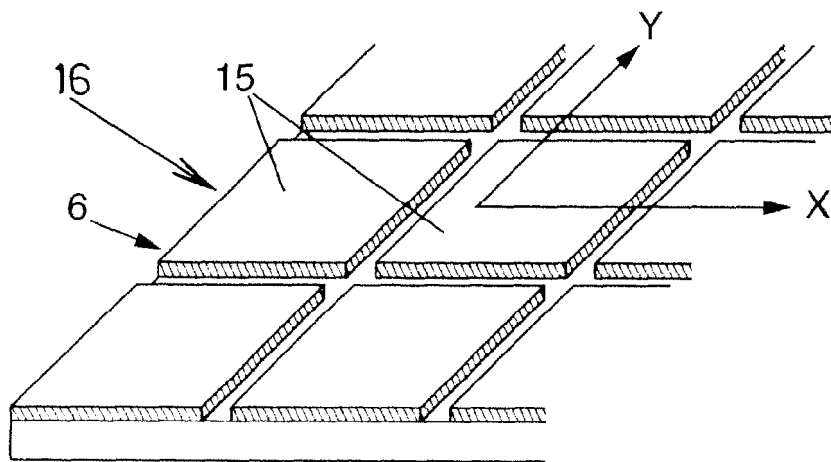
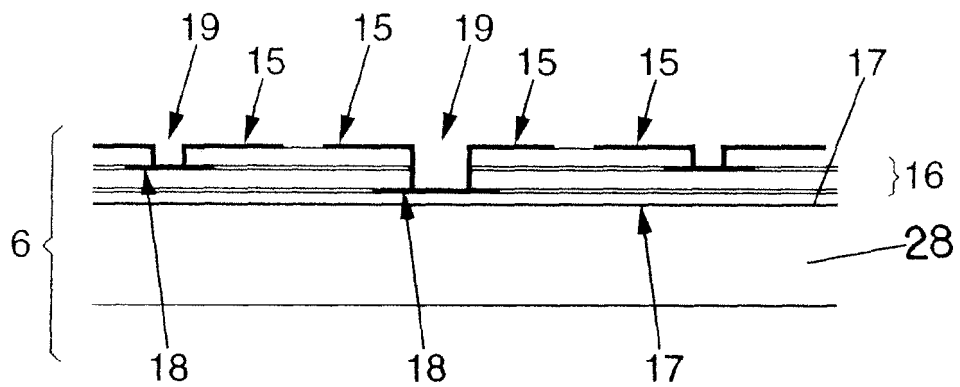


FIG.3.

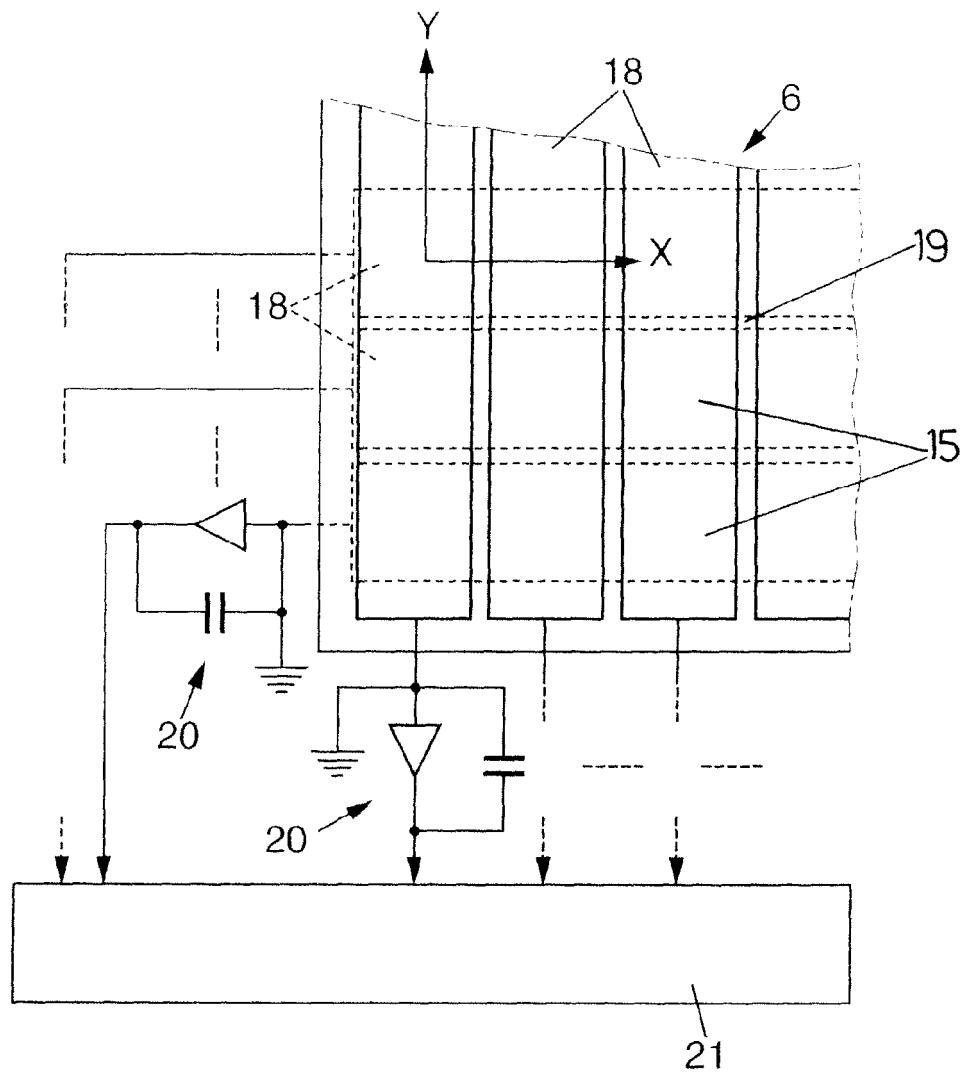


FIG.4.

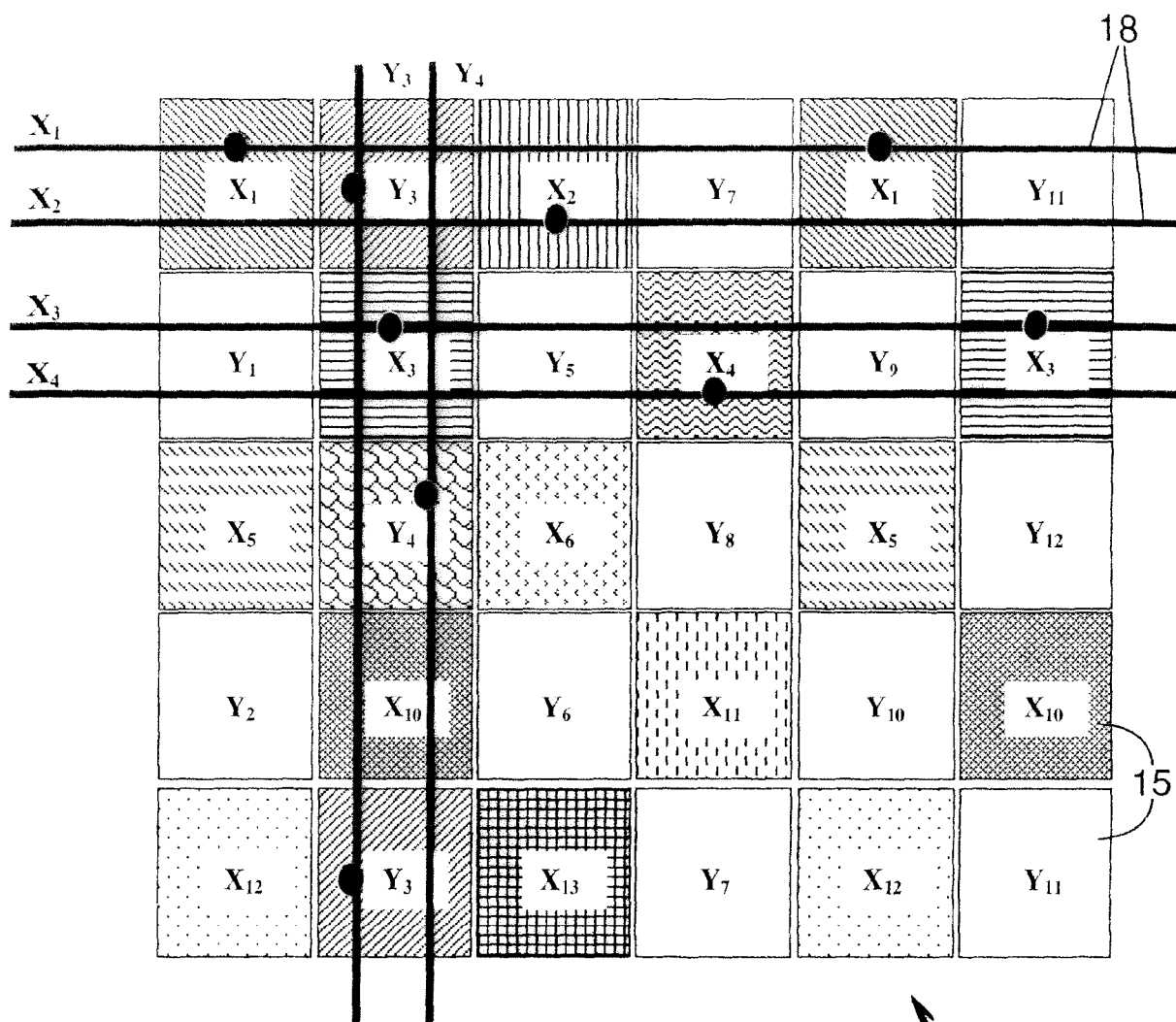


FIG.5.

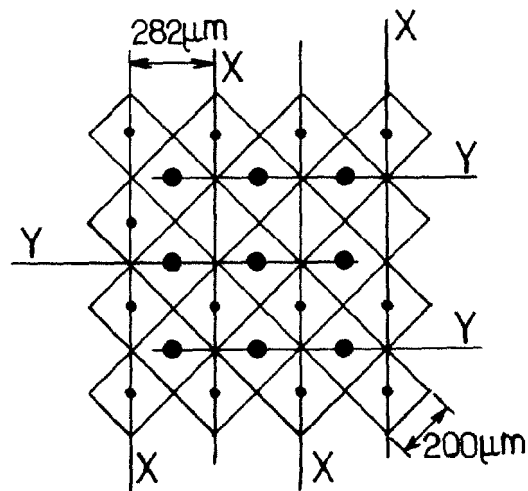


FIG. 6.

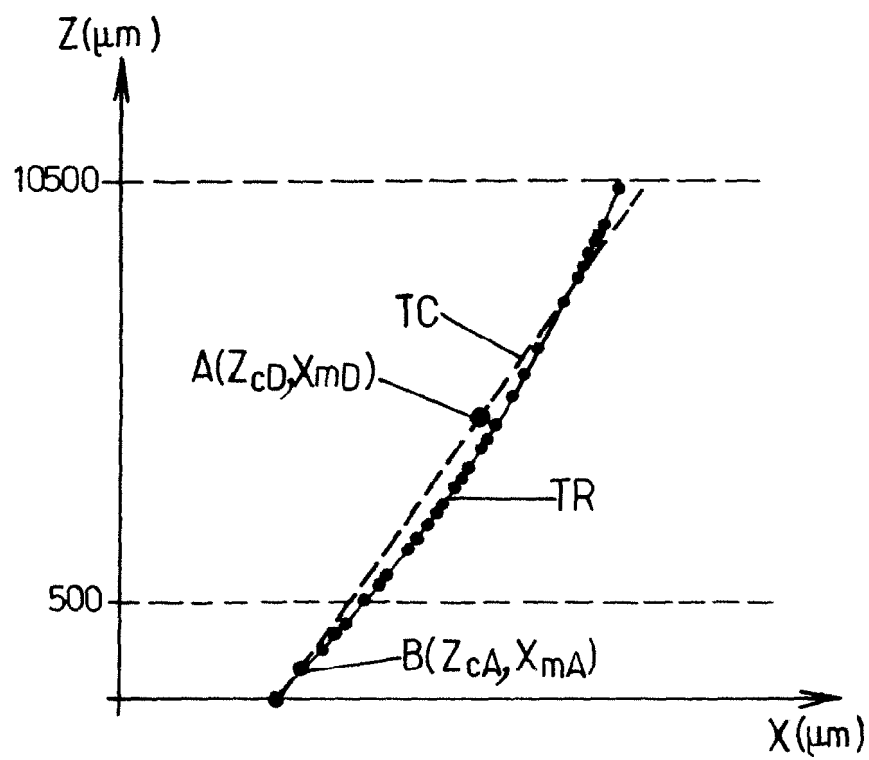
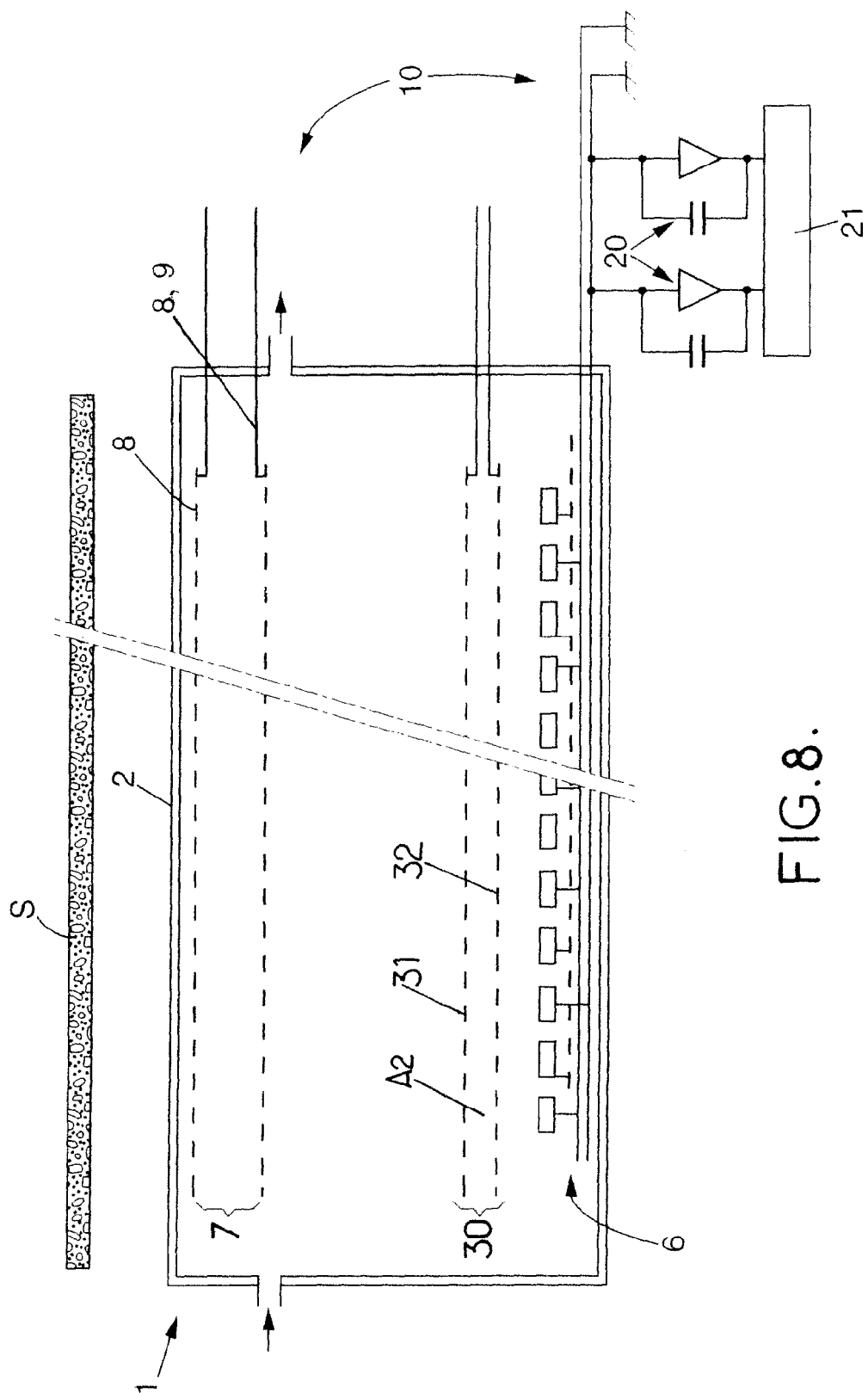


FIG. 7.



RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- FR 2837000 [0006] [0007]
- US 6011265 A [0009] [0030]
- EP 855086 A [0046]