



(12) DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
21.10.1998 Bulletin 1998/43

(51) Int Cl. 6: H01J 47/00, H01J 47/02

(21) Numéro de dépôt: 98400930.8

(22) Date de dépôt: 15.04.1998

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(72) Inventeurs:
• Charpak, Georges
75005 Paris (FR)
• Giomataris, Ioannis
78000 Versailles (FR)
• Rebourgeard, Philippe
75015 Paris (FR)
• Robert, Jean-Pierre
91430 Igny (FR)

(30) Priorité: 15.04.1997 FR 9704617

(71) Demandeurs:
• COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
75015 Paris (FR)
• Charpak, Georges
75005 Paris (FR)

(74) Mandataire: Signore, Robert
c/o BREVATOME
25, rue de Ponthieu
75008 Paris (FR)

(54) Détecteur de particules à électrodes multiples et procédé de fabrication de ce détecteur

(57) Dans ce détecteur, une électrode flexible (6) et une autre électrode (8) sont maintenues espacées l'une de l'autre au moyen d'éléments ponctuels isolants (30).

Pour la fabrication du détecteur, on peut utiliser une technique de photogravure permettant d'obtenir des éléments en photorésist. Application en physique des particules.

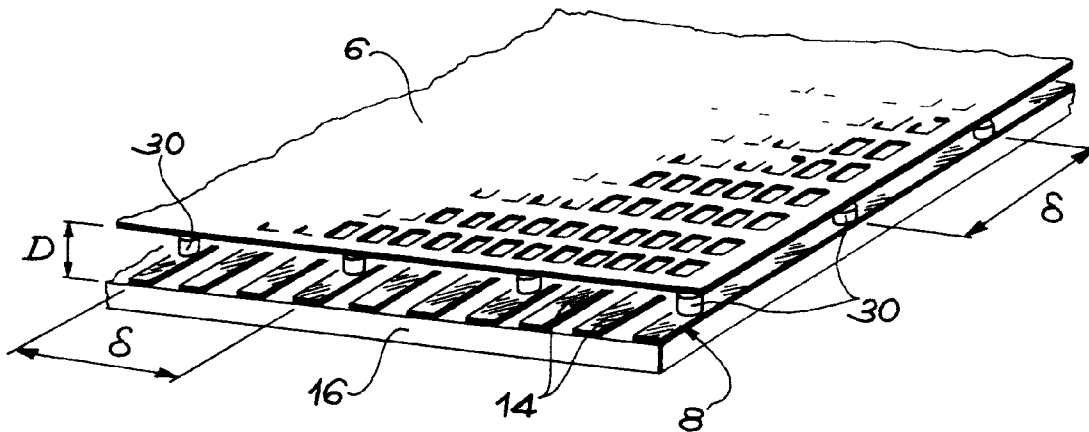


FIG. 3

Description

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un détecteur de particules à électrodes multiples ainsi qu'un procédé de fabrication de ce détecteur.

Elle s'applique notamment en physique des particules ainsi qu'en médecine et en biologie, dans le domaine de l'imagerie des rayons β et dans le domaine de l'imagerie des rayons X.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

On connaît un détecteur de position, à haute résolution, de hauts flux de particules ionisantes (plus de 10^8 particules par mm^2 et par seconde) par les documents suivants :

(1) Demande de brevet français n°9511928 du 11 Octobre 1995

(2) MICROMEGAS : a high-granularity position-sensitive gaseous detector for high particle-flux environments, Y. Giomataris, Ph. Rebourgeard, J.P. Robert, G. Charpak - Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 376 (1996) 29-35.

(3) Article publié dans la revue « lies défis du CEA », n°52, novembre 1996, page 6.

La figure 1 est une vue en perspective schématique et partielle d'un mode de réalisation particulier de ce détecteur connu.

Le détecteur représenté sur la figure 1 comprend :

- une enceinte à gaz 2, et
- trois électrodes planes 4, 6 et 8 contenues dans l'enceinte 2, qui sont parallèles les unes aux autres.

Lorsque les particules ionisantes à détecter, telles que la particule dont la trajectoire est matérialisée par la flèche 12, traversent l'enceinte 2, elles rencontrent successivement l'électrode 4, l'électrode 6 puis l'électrode 8.

L'électrode 6 constitue la cathode du détecteur tandis que l'électrode 8 constitue l'anode de ce détecteur.

L'électrode 4, dont la structure importe peu (ce peut être par exemple une grille), et la cathode 6 du détecteur de la figure 1 délimitent un espace appelé « espace de conversion ».

La cathode 6 et l'anode 8 du détecteur délimitent, quant à elles, un espace appelé "espace d'amplification".

L'anode 8 du détecteur comprend un ensemble d'anodes élémentaires 14 formées sur un support électriquement isolant 16 et espacées les unes des autres.

Dans l'exemple représenté sur la figure 1, ces ano-

des élémentaires sont des bandes électriquement conductrices parallèles les unes aux autres.

La cathode 6 du détecteur de la figure 1 est une plaque mince électriquement conductrice, de faible épaisseur et percée de trous 18 de faible taille, cette cathode 6 formant ainsi une grille qui, compte tenu de la faible taille de ses trous, peut être appelée « micro-grille ».

Des moyens de polarisation non représentés sont aptes à porter l'électrode 4 à un potentiel HV1, la cathode 6 à un potentiel HV2 supérieur à HV1 et toutes les bandes conductrices 14 à un même potentiel HV3 supérieur à HV2.

Dans l'exemple représenté sur la figure 1, ces bandes conductrices 14 sont mises à la masse, le potentiel HV1 vaut -800 V et le potentiel HV2 vaut -500 V.

Les moyens de polarisation permettent de créer des champs électriques E1 et E2 respectivement dans l'espace de conversion et dans l'espace d'amplification.

La distance D entre la cathode 6 et le plan des bandes conductrices 14 est faible.

Elle est de l'ordre de 50 μm à 150 μm .

Dans l'exemple représenté, la distance D vaut 100 μm .

La distance entre l'électrode 4 et la cathode 6 est, quant à elle, beaucoup plus grande et vaut 3 mm dans l'exemple représenté.

De plus, le rapport R de l'intensité du champ électrique E2, créé dans l'espace d'amplification, à l'intensité du champ électrique E1, créé dans l'espace de conversion, est très grand devant 1 (supérieur à 10).

Dans l'exemple représenté sur la figure 1, les moyens de polarisation engendrent un champ de 50 kV/cm dans l'espace d'amplification et un champ de 1 kV/cm dans l'espace de conversion de sorte que ce rapport R est égal à 50.

Dans le détecteur de la figure 1, les bandes conductrices 14 sont des micro-pistes de cuivre de 150 μm de large et de 5 μm d'épaisseur (épaisseur très inférieure à D), qui sont formées par une technique classique de photogravure sur le substrat isolant 16, ces micro-pistes étant espacées les unes des autres de 320 μm .

La micro-grille 6 est formée par électrodéposition et a une épaisseur de l'ordre de 3 μm à 4 μm et des trous carrés de 15 μm x 15 μm avec un pas de 25 μm .

L'enceinte 2 du détecteur de la figure 1 est munie de moyens non représentés permettant d'y faire circuler un gaz approprié, par exemple un mélange Ar + 10% DME.

Comme on le verra mieux par la suite, ce gaz permet l'amplification d'électrons par un processus d'avalanche.

On précise à ce propos que les potentiels HV1 et HV2 sont choisis en fonction du gaz utilisé.

En variante, le gaz ne circule pas à travers l'enceinte 2 mais cette enceinte 2 est initialement remplie du gaz à la pression souhaitée.

Chacune des micro-pistes 14 est reliée à un ampli-

ficateur rapide non représenté, permettant d'amplifier les signaux électriques recueillis par cette micro-piste.

On explique ci-après le fonctionnement du détecteur de la figure 1.

Lorsqu'une particule ionisante 12 traverse l'espace de conversion défini par les électrodes 4 et 6, elle ionise le gaz qui se trouve dans l'espace de conversion et y crée environ une dizaine d'électrons primaires.

Sous l'effet du champ électrique existant dans cet espace, les électrons primaires ainsi créés par ionisation dérivent vers la micro-grille 6.

On a matérialisé par une flèche 27 la trajectoire de l'un de ces électrons sur la figure 1.

Ceux-ci traversent ensuite les ouvertures dont la micro-grille est pourvue et se dirigent vers l'anode 8.

Cette traversée de la micro-grille est facilitée par le rapport R élevé existant entre le champ créé dans l'espace de conversion et le champ créé dans l'espace d'amplification.

En effet, les lignes de champ sont déformées au voisinage de la micro-grille et les électrons sont focalisés vers le centre des trous de cette micro-grille.

Ils parviennent ainsi dans l'espace d'amplification avec une efficacité bien supérieure à la transparence optique de la micro-grille.

Pour des rapports de champs R suffisants, la transparence électronique devient proche de 100% et tous les électrons primaires parviennent dans l'espace d'amplification.

Après avoir traversé la micro-grille 6, ces électrons sont amplifiés par le processus bien connu d'avalanche grâce au champ élevé qui règne dans l'espace d'amplification (associé au mélange gazeux approprié, par exemple Ar + 10% DME).

Sur la figure 1, on a donné la référence 28 à l'avalanche associée à l'électron primaire dont la trajectoire porte la référence 27.

Les électrons sont collectés en quelques nanosecondes par les micro-pistes de l'anode et les ions dérivent rapidement vers la micro-grille.

On a montré qu'en 100 ns la quasi-totalité des ions était collectée par la micro-grille, libérant ainsi le détecteur pour une avalanche ultérieure.

La dérive des ions crée par induction une charge sur les micro-pistes de l'anode.

Ces micro-pistes dont le pas est de l'ordre de l'intervalle d'amplification permettent une localisation de l'avalanche.

Examinons maintenant les contraintes imposées à l'espace d'amplification.

D'une manière générale, le gain par avalanche électronique peut s'écrire :

$$M = e^{\alpha D} \quad (1)$$

où α représente le premier coefficient de Townsend, ca-

ractéristique du mélange gazeux utilisé, qui dépend aussi du champ électrique E2 créé dans l'espace d'amplification, et D représente la distance entre la micro-grille et l'anode où s'effectue la multiplication.

Il est clair, compte tenu de la relation (1), que l'on doit s'assurer que D reste constant sur tout le détecteur afin d'obtenir une bonne uniformité de gain et une bonne résolution en énergie.

On peut préciser la contrainte imposée à D par un calcul simple.

Le champ d'amplification E2 est créé en appliquant une différence de potentiel $V = HV3 - HV2$ entre le plan de l'anode et la micro-grille.

Ce champ d'amplification vaut donc :

$$E2 = \frac{V}{D} \quad (2)$$

Or, le coefficient de Townsend dépend de ce champ suivant la formule approchée :

$$\alpha = \alpha_0 e^{-E_0/E2} \quad (3)$$

où α_0 et E_0 sont des constantes qui dépendent du mélange gazeux utilisé.

La combinaison des relations (1), (2) et (3) permet donc d'écrire :

$$\ln M = D \cdot \alpha_0 \cdot e^{-D \cdot E_0/V} \quad (4)$$

Dans le cas d'un mélange Ar+10%DME, on a mesuré $\alpha_0=2710 \text{ cm}^{-1}$ et $E_0=54 \text{ kV/cm}$.

Avec $D=100 \text{ }\mu\text{m}$, la variation du gain M en fonction de V est sensiblement exponentielle lorsque V varie dans la gamme allant de 0,2kV à 0,5kV.

On peut aussi étudier comment varie le gain M avec la distance D pour une tension appliquée donnée.

On observe l'existence d'un extremum défini par :

$$\frac{1}{M} \cdot \frac{\partial M}{\partial D} = 0 \quad (5)$$

En dérivant la relation (4), on montre que cet extremum a lieu pour

$$D = \frac{V}{E_0} \quad (6)$$

Pour cette valeur particulière, le gain du détecteur est insensible aux faibles variations de distance entre la micro-grille et l'anode.

Pour le mélange Ar+10%DME, cette valeur optimale est égale à 75 μm pour $V=400 \text{ V}$.

Il s'agit d'un point de fonctionnement particulièrement intéressant puisqu'il diminue la contrainte impo-

sée au parallélisme entre la micro-grille et l'anode.

Néanmoins, il n'est pas toujours possible de se placer exactement à cette valeur.

Par exemple, pour le même mélange gazeux, si $D=100\ \mu\text{m}$, on doit s'attendre à des variations relatives de gain de l'ordre de -3% par micromètre.

Il est donc essentiel, dans un détecteur du genre de celui de la figure 1, de maintenir rigoureusement constant l'espacement entre l'anode et la micro-grille afin de préserver l'uniformité et la résolution en énergie.

Ce problème de constance se trouve accru par le fait que la micro-grille est attirée vers l'anode sous l'effet du champ électrique d'amplification.

Cette attraction a tendance à déformer la micro-grille et peut modifier l'espace d'amplification si cette micro-grille n'est pas suffisamment maintenue.

Pour résoudre ce problème, on a préconisé l'emploi d'espaceurs électriquement isolants 29 (figure 2) constitués par des fibres de quartz ou de nylon dont le diamètre est égal à $D(100\ \mu\text{m})$ et qui sont posées sur les micro-pistes 14 de l'anode, perpendiculairement à ces micro-pistes, et sont régulièrement espacées les unes des autres avec un pas Δ de l'ordre de 2 mm à 3 mm.

Cette solution a donné de bons résultats expérimentaux puisque des résolutions énergétiques de 14% ont été mesurées avec des rayons X de 5,9 keV, issus de la désintégration de ^{55}Fe , montrant ainsi que le gain (ou la distance D) est homogène sur des surfaces de plusieurs mm^2 .

Cette solution présente néanmoins une première série d'inconvénients.

Tout d'abord, on doit remarquer que la mise en place des fibres les unes après les autres allonge significativement le temps de fabrication du détecteur et se prête donc assez mal à une réalisation industrielle.

Par ailleurs, du point de vue des performances physiques, on a pu mesurer que la zone proche des espaceurs présentait des caractéristiques dégradées en résolution énergétique à cause des perturbations du champ électrique au voisinage des fibres.

Si l'on suppose que, pour chaque fibre, la zone perturbée s'étend sur une distance de l'ordre d'un diamètre (D) de chaque côté de cette fibre, on trouve qu'une fraction $3D/\Delta$ (c'est-à-dire environ 15%) de la surface du détecteur est affectée par la présence des espaceurs.

Cette perturbation ne se traduit cependant pas par une perte totale d'efficacité (des tests récents, avec des particules au minimum d'ionisation, ont montré que l'efficacité du détecteur était supérieure à 97%) mais elle dégrade la résolution énergétique au voisinage des espaceurs et risque de nuire à certaines applications du détecteur.

Précisons en outre que, jusqu'à présent, on a maintenu la micro-grille tendue sur les fibres pour maintenir constant l'espacement entre l'anode et la micro-grille qui, comme on l'a vu, a tendance à être plaquée contre l'anode par le très fort champ électrique d'amplification.

Pour ce faire, on tend la micro-grille sur un cadre

électriquement isolant, ayant une épaisseur voisine de 2 mm et une largeur de 5 mm et présentant une bonne rigidité.

La micro-grille ainsi tendue est posée sur les fibres formant les espaceurs, la micro-grille étant alors comprise entre le cadre et ces fibres.

Bien que cette façon de faire permette de changer de micro-grille (l'ensemble cadre micro-grille étant amovible), elle conduit à une deuxième série d'inconvénients.

Il est en effet difficile d'assurer le parallélisme du plan de la micro-grille et du plan de l'anode.

Par exemple, lorsque le support ou substrat 16 utilisé est rigide et présente des défauts de planéité, le cadre de maintien de la micro-grille présentant lui-même ses propres défauts et sa propre rigidité, il apparaît des zones où la distance entre la micro-grille et l'anode n'est plus égale à sa valeur nominale.

D'importantes diminutions du gain ont ainsi été constatées, la plupart du temps sur les bords du détecteur.

La partie centrale de ce dernier, loin du cadre de maintien, ne présente généralement aucun défaut car la micro-grille, tendue par le champ électrique, repose bien sur les fibres.

De plus, le fait de maintenir la micro-grille sur un cadre est peu compatible avec la diminution de matière souvent nécessaire aux applications en physique des hautes énergies et ne permet pas non plus de diminuer facilement l'espace de conversion.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients précédents et, plus généralement, d'empêcher une électrode flexible d'un détecteur de particules d'entrer en contact avec une autre électrode de ce détecteur sous l'effet d'une force électrostatique résultant de l'application d'une tension électrique entre ces deux électrodes tout en perturbant moins que précédemment le champ électrique ainsi établi entre ces deux électrodes.

De façon précise, la présente invention a pour objet un détecteur de particules à électrodes multiples, dans lequel une électrode flexible et une autre électrode sont destinées à être portées à des potentiels électriques différents et sont maintenues espacées l'une de l'autre au moyen d'espaceurs électriquement isolants, placés entre ces deux électrodes, ce détecteur étant caractérisé en ce que les espaceurs sont des éléments ponctuels, répartis dans l'espace compris entre les deux électrodes.

L'utilisation, en tant qu'espaceurs, d'éléments ponctuels, au lieu d'éléments linéaires tels que des fibres, permet de réduire de façon importante les perturbations du champ électrique que l'on établit entre les deux électrodes.

Le détecteur peut comprendre en outre une bordure

électriquement isolante qui entoure l'ensemble des éléments ponctuels.

Les éléments ponctuels et/ou la bordure peuvent être fixés à ladite autre électrode, l'électrode flexible reposant sur les éléments ponctuels et étant éventuellement fixée à la bordure.

Selon un mode de réalisation particulier du détecteur objet de l'invention, les deux électrodes sont maintenues parallèles aux moyens des éléments ponctuels, ceux-ci ayant alors la même hauteur (égale à la distance souhaitée entre les deux électrodes). Dans ce cas, la bordure, si elle est utilisée, a la même hauteur que les éléments ponctuels.

La présente invention s'applique tout particulièrement aux détecteurs du genre de ceux qui sont décrits dans les documents (1), (2) et (3) mentionnés plus haut :

le détecteur objet de l'invention peut comprendre en outre une première électrode espacée des deux électrodes, l'électrode flexible délimitant (a) avec ladite autre électrode un espace d'amplification où ces deux électrodes constituent respectivement une cathode et une anode et (b) avec la première électrode un espace de conversion des particules en électrons d'ionisation et de dérive de ces électrons vers l'espace d'amplification, la cathode étant percée de trous, l'anode comprenant un ensemble d'anodes élémentaires électriquement isolées les unes des autres, la première électrode étant destinée à être portée à un premier potentiel, la cathode à un deuxième potentiel supérieur au premier potentiel et les anodes élémentaires à un troisième potentiel supérieur au deuxième potentiel, pour créer des champs électriques respectivement dans les espaces de conversion et d'amplification.

Selon un mode de réalisation particulier, la première électrode, l'anode et la cathode sont parallèles, la distance D entre la cathode et l'anode étant inférieure à 500 μm , le rapport R de l'intensité du champ électrique créé dans l'espace d'amplification à l'intensité du champ électrique créé dans l'espace de conversion étant supérieur à 10, la hauteur des éléments ponctuels étant égale à D et les dimensions de ces éléments ponctuels, comptées parallèlement à l'anode, étant sensiblement égales à D.

Dans le cas du détecteur à première électrode, anode et cathode les éléments ponctuels et/ou la bordure sont de préférence fixés à l'anode et la cathode repose sur les éléments ponctuels, et est éventuellement fixée à la bordure.

Selon un autre mode de réalisation particulier du détecteur, la distance séparant l'électrode flexible et ladite autre électrode n'est pas constante, ces deux électrodes étant espacées de façon contrôlée à l'aide d'espaceurs de hauteurs adaptées à l'intervalle souhaité entre ces deux électrodes.

Selon un premier mode de réalisation particulier de l'invention, les éléments ponctuels forment des cylindres (au sens large, les cylindres de révolution n'étant qu'un cas particulier), chaque cylindre ayant des dimen-

sions qui, comptées parallèlement auxdites deux électrodes, sont sensiblement égales ou inférieures à la hauteur de ce cylindre.

5 Selon un deuxième mode de réalisation particulier, les éléments ponctuels forment des sphères.

La présente invention concerne également un procédé de fabrication du détecteur objet de l'invention, caractérisé en ce qu'on forme sur ladite autre électrode une couche de photorésist (résine photosensible) dont l'épaisseur est adaptée à l'espace choisi entre les deux électrodes, en ce qu'on forme ces éléments ponctuels par insolation de cette couche, à travers un masque définissant les éléments ponctuels, puis développement de la couche, et en ce qu'on place ensuite l'électrode flexible sur les éléments ponctuels en photorésist ainsi formés.

Dans ce cas, pour fabriquer le détecteur auquel l'invention s'applique tout particulièrement et qui comprend une anode et une cathode percée de trous, la couche de photorésist est formée sur l'anode du détecteur, de manière à former sur celle-ci les éléments ponctuels en photorésist, et la cathode est ensuite placée sur ces éléments ponctuels en photorésist.

De préférence, le masque définit en outre ladite bordure, de manière à former aussi une bordure en photorésist sur l'anode par insolation puis développement de la couche de photorésist et on place ensuite la cathode sur les éléments ponctuels en photorésist.

On peut fixer la cathode à la bordure en photorésist par exemple par collage.

Au lieu de cela, on peut avantageusement fixer la cathode à un substrat électriquement isolant portant les anodes élémentaires, en utilisant la bordure comme espaceur.

35 Lorsqu'on veut des espaceurs de même hauteur, on forme une couche de photorésist dont l'épaisseur est égale à cette hauteur.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

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

- 45 • la figure 1, déjà décrite, est une vue en perspective schématique et partielle d'un détecteur connu,
- la figure 2, déjà décrite, montre schématiquement des espaceurs utilisés dans ce détecteur et constitués par des fibres isolantes,
- 50 • la figure 3 est une vue en perspective schématique et partielle d'un mode de réalisation particulier du détecteur objet de l'invention, utilisant des espaceurs constitués par des colonnettes isolantes,
- 55 • la figure 4 montre schématiquement une bordure qui est utilisée dans le détecteur de la figure 3 et qui entoure les colonnettes,
- les figures 5 et 6 illustrent schématiquement

d'autres modes de réalisation particuliers de l'invention, et

- les figures 7 et 8 illustrent schématiquement un autre détecteur conforme à l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

On considère l'exemple du détecteur des figures 1 et 2 que l'on améliore conformément à la présente invention en y remplaçant les fibres isolantes 29 par des espaceurs constitués par des colonnettes isolantes 30 (figure 3) dont la hauteur est égale à la distance D entre l'anode et la micro-grille (100 μm) et dont la diamètre, voisin de D, vaut environ 110 μm .

De préférence, ces colonnettes sont régulièrement réparties dans l'espace compris entre l'anode et la micro-grille et l'on note δ le pas des colonnettes.

Si l'on suppose à nouveau que le voisinage de chaque colonnette 30 est perturbé sur une distance D, la zone perturbée représente $(\pi/4) \cdot (3D/\delta)^2$ de la surface du détecteur.

Dans ce cas, le rapport D/ δ intervient au carré et, en gardant un pas δ entre colonnettes de 2 mm, seulement 1,7% de surface du détecteur est perturbée.

L'utilisation des colonnettes au lieu des fibres conduit donc à une réduction considérable de la surface perturbée.

Les colonnettes 30 pourraient être formées sur le substrat isolant 16 mais, dans l'exemple représenté, elles sont formées sur les micro-pistes conductrices 14.

Pour fabriquer le détecteur conforme à l'invention qui est représenté de façon schématique et partielle sur la figure 3, on commence par former la micro-grille et le substrat (par exemple en résine époxy) portant les micro-pistes 14 qui sont obtenues par une technique traditionnelle de photogravure.

Les colonnettes 30 sont ensuite formées également par une technique de photogravure.

Pour ce faire, on dépose une couche (non représentée) de photorésist ou résine photosensible sur la surface du substrat portant les micro-pistes conductrices, par lavage à chaud (par exemple à 120°C).

L'épaisseur de cette couche est égale à la distance D souhaitée et peut aller de 50 μm à 100 μm (elle vaut 100 μm dans l'exemple considéré).

On insole ensuite cette couche par un rayonnement ultraviolet à travers un film contenant le masque des colonnettes.

Ce masque est préalablement aligné sur la surface portant les micro-pistes conductrices à l'aide de repères gravés en même temps que ces micro-pistes conductrices.

On développe ensuite la couche et l'on recuit les colonnettes de photorésist obtenues, par exemple à une température de 150°C et pendant 24 heures.

On achève ensuite le détecteur (notamment par la mise en place de la micro-grille 6 et de l'électrode 4).

De préférence, on forme aussi, sur la face du substrat 16 portant les micro-pistes conductrices 14, une bordure 32 en photorésist (figure 4) qui entoure l'ensemble des colonnettes 30 et a la même hauteur D que celles-ci.

5 Pour ce faire, on utilise pour l'insolation un film contenant le masque des colonnettes et de cette bordure et l'on obtient donc, après insolation, développement puis recuit, les colonnettes et la bordure en photorésist.

10 Lors du montage du détecteur, la micro-grille 6 est placée sur les colonnettes 30 puis tendue et fixée à sa périphérie sur la bordure 32, de préférence par collage par exemple au moyen d'une résine époxy.

On s'affranchit alors du cadre de maintien qui était nécessaire dans l'art antérieur comme on l'a vu plus haut.

15 Les conducteurs 34 que l'on aperçoit sur la figure 4 sont simplement des prolongements des micro-pistes conductrices et permettent la connexion de celles-ci à des amplificateurs rapides que l'on utilise lors du fonctionnement du détecteur comme on l'a vu plus haut.

20 Un tel détecteur conforme à l'invention ne montre pas de perturbations comparables à celles que l'on observait avec les détecteurs utilisant des fibres en tant qu'espaceurs.

25 Sa résolution énergétique est uniformément satisfaisante et son efficacité, mesurée sur un faisceau de particules au minimum d'ionisation, est très proche de 100%.

Les avantages d'un tel détecteur sont très importants.

30 La surface couverte par les colonnettes est bien moindre que dans l'art antérieur puisqu'on est passé d'une configuration linéaire à une configuration ponctuelle.

35 En outre, le cadre de maintien ayant été supprimé, les défauts de planéité du substrat 16 (une courbure par exemple) sont tolérables.

On a effectivement vérifié que l'uniformité du détecteur était remarquable, y compris dans les coins de sa partie active.

40 Par ailleurs, on n'a observé aucune dégradation de résolution puisque la surface perturbée est désormais négligeable (inférieure à 1%).

45 La quantité de matière introduite dans le détecteur est également plus faible que dans l'art antérieur et l'espace de conversion peut être réduit si nécessaire.

En ce qui concerne le procédé de fabrication, les avantages sont manifestes.

50 En deux étapes successives, permettant de traiter aussi bien de petites surfaces que de grandes surfaces, un même industriel spécialisé en photogravure peut réaliser l'essentiel du détecteur.

55 Une grande gamme d'épaisseurs de film de photorésist est commercialement disponible et toutes sortes de motifs sont possibles au moment de la photogravure.

Les espaceurs peuvent être de forme cylindrique de révolution ou parallélépipédique par exemple.

Un détecteur formé avec le procédé utilisant une

couche de photorésist autorise encore un changement de micro-grille à condition d'utiliser une colle facile à dissoudre sans détériorer le photorésist.

Il est à noter que ce procédé permet d'obtenir bien plus rapidement que précédemment des espaceurs sur l'anode du détecteur.

Dans une variante de réalisation, la micro-grille 6 n'est plus fixée à la bordure 32 : elle est fixée au substrat 16 en utilisant la bordure comme espaceur.

Il est alors plus facile de démonter la micro-grille pour la remplacer par une autre.

De plus, la micro-grille peut alors être aisément connectée à une électrode de polarisation : on peut prévoir sur le substrat une électrode photogravée et utiliser une colle conductrice pour fixer la micro-grille au substrat et, en particulier, à cette électrode.

La fixation de la micro-grille au substrat présente un autre avantage : lorsqu'on veut placer deux détecteurs côte à côte sur un même substrat isolant, la fixation des deux micro-grilles correspondantes sur ce substrat permet de réduire la « zone morte » entre ces deux micro-grilles.

Tout ceci est schématiquement illustré par les figures 5 et 6 (à des échelles différentes).

Dans l'exemple représenté en coupe transversale sur la figure 5 et en vue de dessus sur la figure 6, deux détecteurs 36 et 38 sont formés sur le même substrat 16.

On voit les bordures 32 et 32a ainsi que les micro-grilles 6 et 6a correspondant respectivement à ces détecteurs.

On voit également les prolongements 34 et 34a des micro-pistes ainsi que l'espace 40 compris entre les bordures 32 et 32a.

Les micro-grilles 6 et 6a reposent sur les colonnettes 30 et 30a et les bordures 32 et 32a correspondantes et sont fixées, par collage, au substrat 16, dans l'espace 40.

On peut prévoir dans cet espace 40 une piste conductrice 42 et connecter les micro-grilles à celle-ci par des points de colle conductrice ou de soudure 44.

Au lieu d'utiliser des anodes élémentaires formant des micro-pistes parallèles 14, on peut utiliser, comme cela est mentionné dans le document (1), des anodes élémentaires formant un réseau bidimensionnel en damier sur le substrat isolant 16 ou toute autre configuration.

Les colonnettes peuvent alors être formées sur ces éléments en damier.

De plus, on peut utiliser des sphères isolantes, de diamètre D, par exemple en quartz, à la place de ces colonnettes.

L'invention s'applique à tout détecteur de particules dans lequel deux électrodes doivent être maintenues parallèles l'une à l'autre.

Il convient de remarquer que le procédé mentionné plus haut, qui utilise une couche de photorésist, permet de concevoir des détecteurs dont les électrodes ne sont

pas planes mais par exemple cylindriques ou sphériques.

De tels détecteurs étaient bien plus difficiles à réaliser en utilisant des espaceurs constitués par des fibres.

De plus, dans l'exemple donné plus haut, l'épaisseur de la micro-grille est de l'ordre de 3 μm à 4 μm mais dans d'autres détecteurs elle pourrait aller jusqu'à 100 μm .

De toute façon l'invention s'applique à toute électrode susceptible de se déformer (peu importe son épaisseur), pour l'empêcher de former un court-circuit avec une autre électrode adjacente par attraction électro-statique avec cette dernière lorsqu'une tension électrique est appliquée entre ces deux électrodes.

Les électrodes ne sont d'ailleurs pas nécessairement parallèles. A titre d'exemple, dans certaines applications, il peut être utile de faire varier de façon continue la distance entre la micro-grille et l'anode d'un détecteur du genre MICROMEGAS (documents (1) à (3)). Par exemple on voit de façon schématique et partielle, en coupe transversale sur la figure 7 et en vue de dessus sur la figure 8, un tel détecteur où la micro-grille 6 est posée sur des espaceurs ponctuels 30 isolants dont la hauteur va en croissant par exemple de 50 μm à 150 μm suivant un axe x parallèle aux micro-pistes 14 formées sur le substrat 16 lorsque l'abscisse x varie de 0 à L=15 cm. Alors si des rayons X sont absorbés dans l'espace de conversion C ils donnent lieu à une amplification variable le long de l'axe x et l'on dispose ainsi d'un détecteur bidimensionnel pour les rayons X si l'on détermine la hauteur des impulsions recueillies par les micro-pistes et l'adresse de ces micro-pistes.

Il convient de noter que des espaceurs ponctuels de hauteurs variables sont réalisables par exemple au moyen de billes isolantes de diamètres variables ou au moyen de photorésist et d'une photolithographie, et permettent, grâce à la flexibilité de la microgrille, d'obtenir tout espace souhaité entre cette microgrille et l'anode.

Revendications

1. Détecteur de particules à électrodes multiples, dans lequel une électrode flexible (6) et une autre électrode (8) sont destinées à être portées à des potentiels électriques différents et sont maintenues espacées l'une de l'autre au moyen d'espaceurs électriquement isolants, placés entre ces deux électrodes, ce détecteur étant caractérisé en ce que les espaceurs sont des éléments ponctuels (30) répartis dans l'espace compris entre les deux électrodes.
2. Détecteur selon la revendication 1, comprenant en outre une bordure électriquement isolante (32) qui entoure l'ensemble des éléments ponctuels (30).

3. Détecteur selon l'une au moins des revendications 1 et 2, dans lequel les éléments ponctuels et/ou la bordure sont fixés à ladite autre électrode (8), l'électrode flexible (6) reposant sur les éléments ponctuels et étant éventuellement fixée à la bordure. 5
4. Détecteur selon la revendication 1, dans lequel les deux électrodes sont maintenues parallèles au moyen des éléments ponctuels, ceux-ci ayant la même hauteur (D). 10
5. Détecteur selon les revendications 2 et 4, dans lequel la bordure a la même hauteur que les éléments ponctuels. 15
6. Détecteur selon la revendication 1, comprenant en outre une première électrode (4) espacée des deux électrodes, l'électrode flexible délimitant (a) avec ladite autre électrode un espace d'amplification où ces deux électrodes constituent respectivement une cathode et une anode et (b) avec la première électrode un espace de conversion des particules en électrons d'ionisation et de dérive de ces électrons vers l'espace d'amplification, la cathode étant percée de trous (18), l'anode comprenant un ensemble d'anodes élémentaires (14) électriquement isolées les unes des autres, la première électrode étant destinée à être portée à un premier potentiel, la cathode à un deuxième potentiel supérieur au premier potentiel et les anodes élémentaires à un troisième potentiel supérieur au deuxième potentiel, pour créer des champs électriques respectivement dans les espaces de conversion et d'amplification. 20 25 30
7. Détecteur selon les revendications 4 et 6, dans lequel la première électrode est parallèle aux deux électrodes, la distance D entre la cathode et l'anode étant inférieure à 500 μm , le rapport R de l'intensité du champ électrique créé dans l'espace d'amplification à l'intensité du champ électrique créé dans l'espace de conversion étant supérieur à 10, la hauteur des éléments ponctuels étant égale à D et les dimensions de ces éléments ponctuels, comptées parallèlement à l'anode, étant sensiblement égales à D. 35 40 45
8. Détecteur selon la revendication 6, comprenant en outre une bordure électriquement isolante (32) qui entoure l'ensemble des éléments ponctuels (30). 50
9. Détecteur selon les revendications 7 et 8, dans lequel la bordure a la même hauteur que les éléments ponctuels. 55
10. Détecteur selon l'une au moins des revendications 6 et 8, dans lequel les éléments ponctuels (30) et/ou la bordure sont fixés à l'anode (8) et la cathode (6) repose sur les éléments ponctuels et est éventuellement fixée à la bordure.
11. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 et 6, dans lequel la distance séparant l'électrode flexible et ladite autre électrode n'est pas constante, ces deux électrodes étant espacées de façon contrôlée à l'aide d'espaceurs de hauteurs adaptées à l'intervalle souhaité entre ces deux électrodes.
12. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel les éléments ponctuels forment des cylindres (30), chaque cylindre ayant des dimensions qui, comptées parallèlement à ladite autre électrode, sont sensiblement égales ou inférieures à la hauteur de ce cylindre.
13. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel les éléments ponctuels forment des sphères.
14. Procédé de fabrication du détecteur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on forme sur ladite autre électrode (8) une couche de photorésist dont l'épaisseur est adaptée à l'espace choisi entre les deux électrodes, en ce qu'on forme les éléments ponctuels (30) par insolation de cette couche, à travers un masque définissant ces éléments ponctuels, puis développement de la couche, et en ce qu'on place ensuite l'électrode flexible (6) sur les éléments ponctuels en photorésist ainsi formés.
15. Procédé selon la revendication 14, pour la fabrication du détecteur selon la revendication 4, dans lequel l'épaisseur de la couche de photorésist est égale à ladite hauteur (D).
16. Procédé selon la revendication 14, pour la fabrication du détecteur selon la revendication 6, dans lequel la couche de photorésist est formée sur l'anode (8) du détecteur, de manière à former sur celle-ci les éléments ponctuels (30) en photorésist, et la cathode (6) est ensuite placée sur ces éléments ponctuels en photorésist.
17. Procédé selon la revendication 16, pour la fabrication du détecteur selon la revendication 8, dans lequel le masque définit en outre ladite bordure (32), de manière à former aussi une bordure en photorésist sur l'anode (8) par insolation puis développement de la couche de photorésist et on place ensuite la cathode (6) sur les éléments ponctuels en photorésist.
18. Procédé selon la revendication 17, dans lequel on fixe la cathode (6) à la bordure (32) en photorésist.

19. Procédé selon la revendication 17, dans lequel on fixe la cathode à un substrat électriquement isolant portant les anodes élémentaires en utilisant la bordure comme espaceur.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

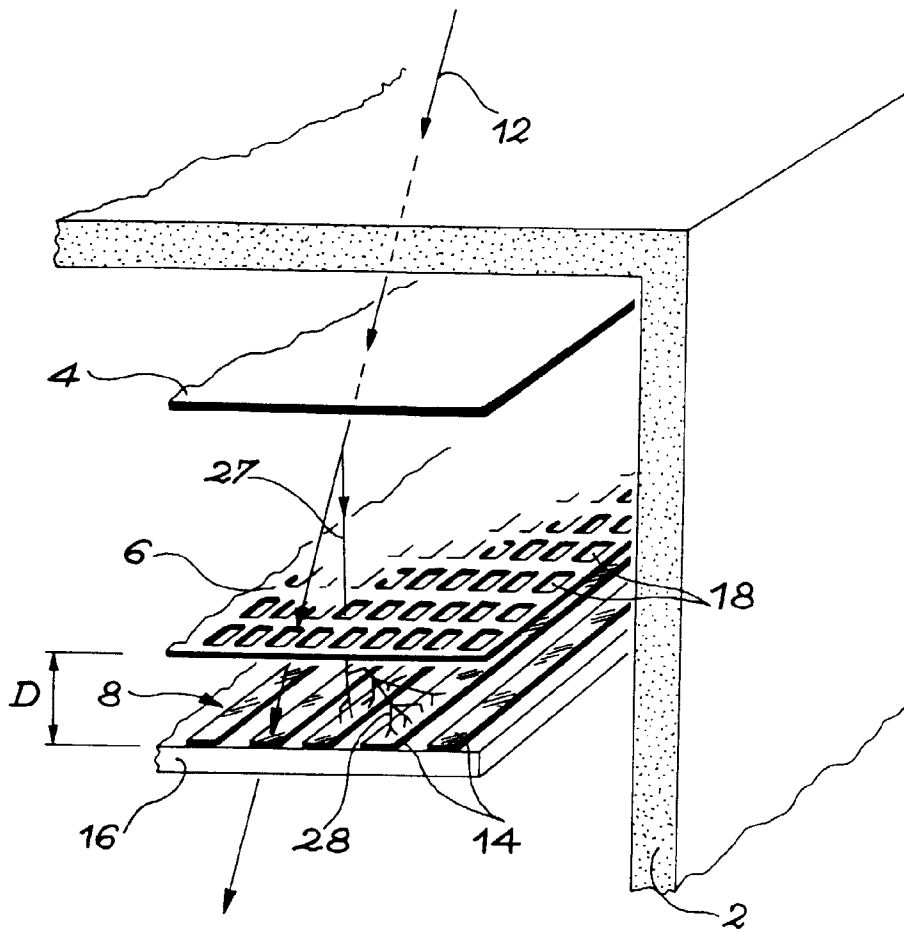


FIG. 1

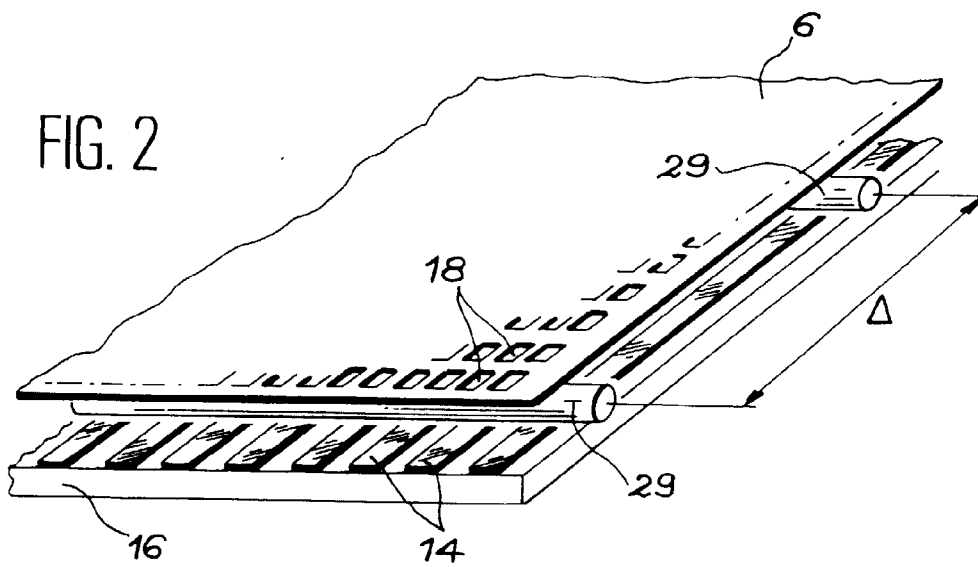


FIG. 2

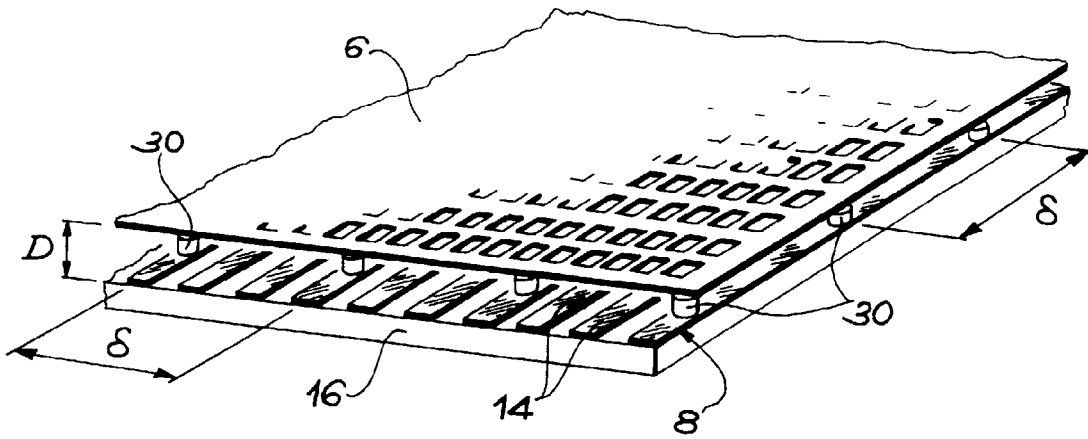


FIG. 3

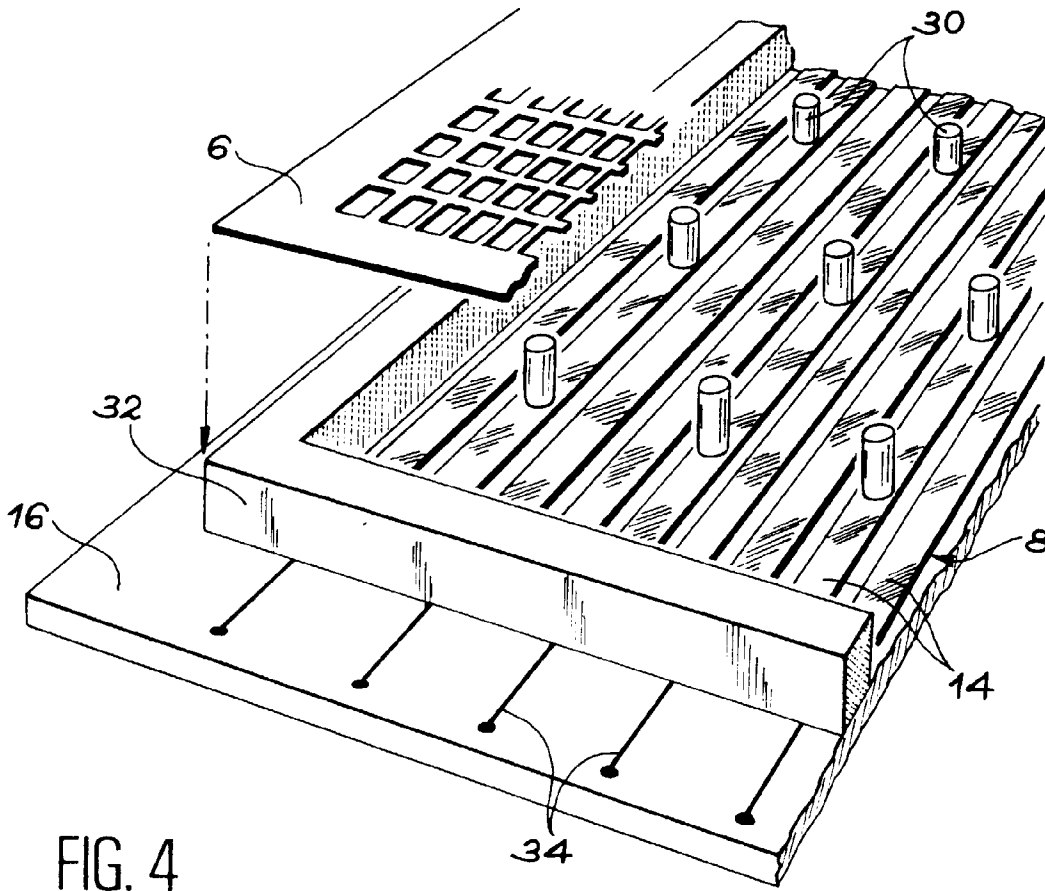


FIG. 4

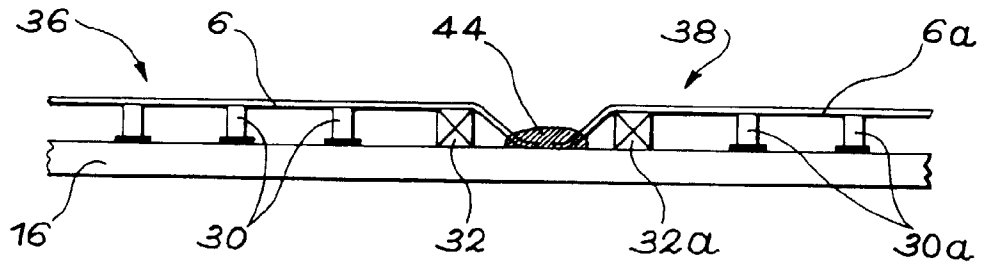


FIG. 5

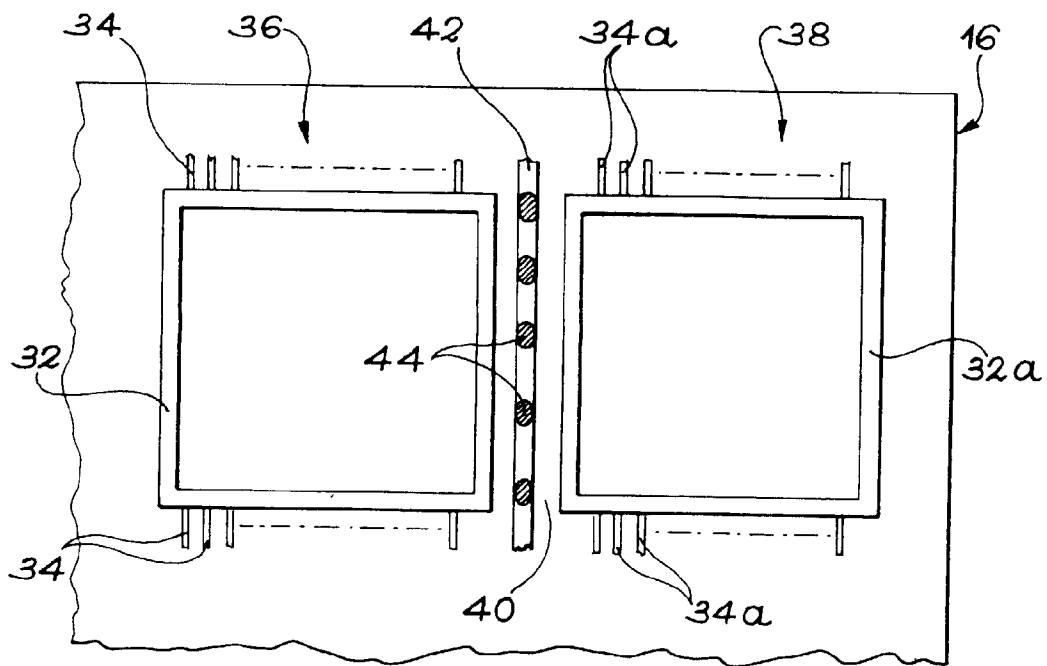


FIG. 6

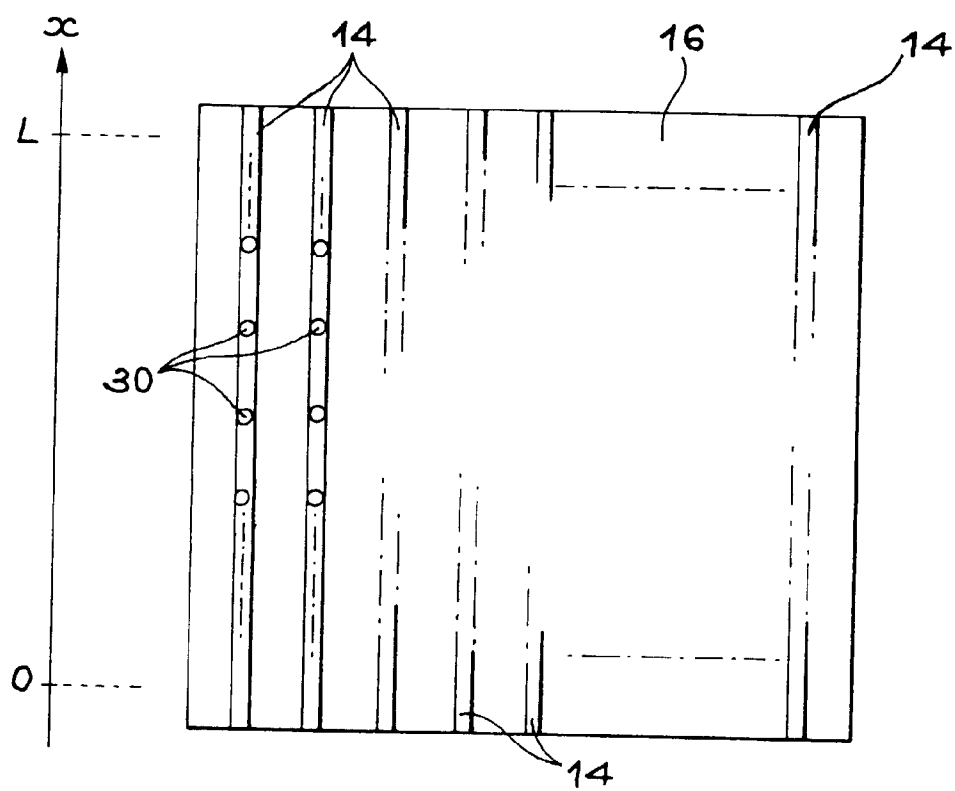
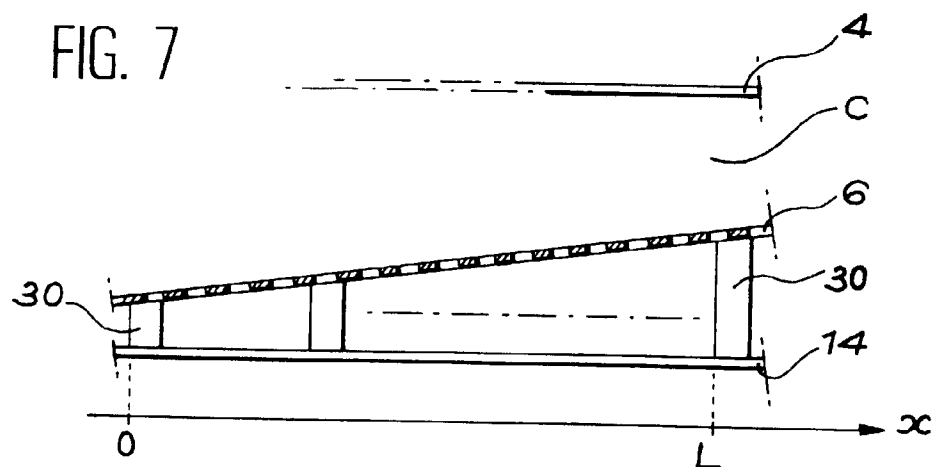


FIG. 8



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 98 40 0930

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
Y	GB 2 141 577 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 19 décembre 1984 * page 1, ligne 89 - page 2, ligne 27; figures 2,3 *	1-9,12	H01J47/00 H01J47/02
D,Y	GIOMATARIS Y ET AL: "MICROMEGAS: a high-granularity position-sensitive gaseous detector for high particle-flux environments" NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION A (ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT), 21 JUNE 1996, ELSEVIER, NETHERLANDS, vol. 376, no. 1, pages 29-35, XP002050622 ISSN 0168-9002 * page 30, colonne de gauche, ligne 1 - page 32; figures 1-3 *	1-9,12	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 008, no. 025 (E-225), 2 février 1984 & JP 58 188030 A (FUJITSU KK), 2 novembre 1983 * abrégé *	14,15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6) H01J
A	EP 0 622 826 A (HAMAMATSU PHOTONICS KK) 2 novembre 1994 * colonne 6, ligne 27 - colonne 9, ligne 30; figures 1-3 *	13	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 29 juillet 1998	Examineur Schaub, G
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03.02 (P04D02)