

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication:

0 165 119
A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 85400897.6

(51) Int. Cl.⁴: **H 01 J 43/22**

(22) Date de dépôt: 07.05.85

(30) Priorité: 09.05.84 FR 8407142

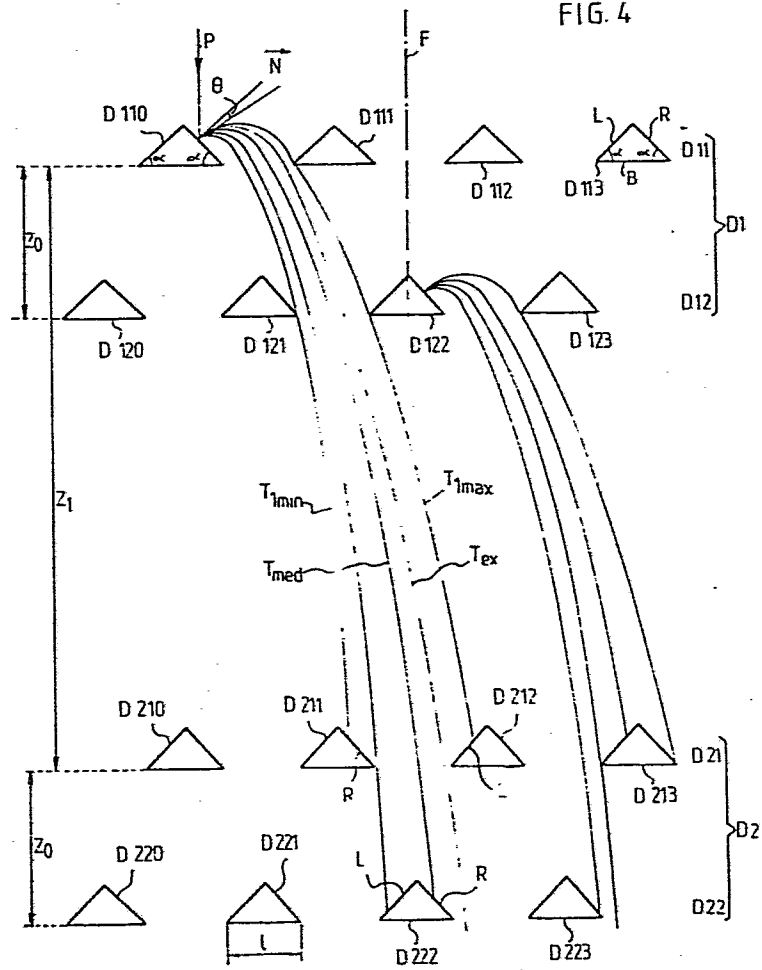
(43) Date de publication de la demande:
18.12.85 Bulletin 85/51(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE(71) Demandeur: **ANVAR Agence Nationale de Valorisation
de la Recherche**
43, rue Caumartin
F-75436 Paris Cédex 09(FR)(72) Inventeur: **Kuroda, Kei-Ichi**
2A, chemin de Mouille-Galand
CH-1214 Vernier - Geneve(CH)(74) Mandataire: **Plaçais, Jean-Yves et al,**
Cabinet Netter 40, rue Vignon
F-75009 Paris(FR)(54) **Dispositif multiplicateur d'électrons, à localisation par le champ électrique.**

(57) Les dynodes ($D_1, D_2 \dots$) du photomultiplicateur comportent chacune deux plans espacés (D_{11} et D_{12}), dont les lamelles élémentaires ont une section droite en forme de triangle isocèle, tournées symétriquement vers la fenêtre d'entrée du tube photomultiplicateur. Les lamelles de deux plans consécutifs sont intercalées en chicane, et agencées de sorte que les électrons partant du premier plan traversent le second sans en frapper les lamelles. La distance Z_1 entre deux étages de dynodes, qui est grande par rapport à la distance Z_0 entre deux plans d'une même dynode, est choisie, en fonction du champ électrique, de sorte que les électrons secondaires provenant de l'étage amont frappent selon une distribution concentrée un nombre limité de lamelles de l'étage aval.

EP 0 165 119 A1

./...

FIG. 4



ANVAR 7

1

Dispositif multiplicateur d'électrons, à localisation par le champ électrique.

L'invention concerne les dispositifs multiplicateurs
5 d'électrons, plus particulièrement les tubes
photomultiplicateurs.

Le Brevet français 78 36148, publié sous le N° 2 445 018, décrit un tube multiplicateur d'électrons capable de
10 "localisation". Dans un tel tube, le centre de la distribution des électrons secondaires sur l'anode de sortie correspond, dans une certaine mesure, à la position du point d'impact du rayonnement à amplifier sur la fenêtre d'entrée du tube. Le mot "rayonnement" est pris
15 ici au sens large, puisqu'il peut s'agir aussi bien de photons que d'électrons ou d'autres particules chargées, capables de provoquer l'extraction d'électrons secondaires. Le multiplicateur d'électrons antérieurement décrit donne entière satisfaction, en particulier au plan
20 de la résolution spatiale qu'il permet d'obtenir; mais il utilise pour cela la superposition d'un champ magnétique au champ électrique accélérateur que comporte naturellement le dispositif. Les moyens nécessaires à l'obtention de ce champ magnétique tendent à compliquer la

structure du dispositif multiplicateur d'électrons, en même temps qu'à en augmenter le coût. De plus, par leur encombrement propre, ils tendent aussi à réduire la place disponible pour la multiplication d'électrons, ainsi que
5 la largeur de la fenêtre d'entrée du dispositif et/ou l'accès de celle-ci.

Ainsi qu'on le verra plus loin, la présente invention vient résoudre le problème consistant à réaliser un
10 dispositif multiplicateur d'électrons, capable de localisation, qui fonctionne sans champ magnétique surajouté, tout en permettant d'atteindre des propriétés de localisation comparables ou presque à celles du dispositif à champs électrique et magnétique
15 antérieurement connu.

Le dispositif multiplicateur d'électrons comporte, dans un tube à vide, une succession d'électrodes planes parallèles, qui définissent plusieurs étages de dynodes,
20 capables d'émission électronique secondaire, entre une fenêtre d'entrée et une anode de sortie, et des moyens connectés à ces électrodes afin d'établir entre elles un champ accélérateur d'électrons dont la direction générale est perpendiculaire aux électrodes.

25 Par ailleurs, le dispositif multiplicateur d'électrons proposé comporte, à certains égards, une parenté structurelle avec le dispositif antérieur faisant usage d'un champ magnétique : dans les deux cas, chaque étage de
30 dynode est défini en deux plans successifs, constitués chacun de lamelles parallèles interconnectées, et ces lamelles sont décalées d'un plan à l'autre de façon que ces deux plans définissent ensemble un obstacle en chicane pour les trajectoires électroniques qui leur sont
35 perpendiculaires. Il importe de remarquer immédiatement que, malgré cette parenté structurelle, le fonctionnement n'est pas du tout le même dans les deux cas, car les

trajectoires électroniques obtenues en utilisant conjointement un champ électrique et un champ magnétique sont totalement différentes de celles qu'on obtient avec un champ électrique seul. Dans ce dernier cas, la

5 localisation est définie essentiellement par le parcours latéral des électrons secondaires dû à la composante transversale de la vitesse initiale. La présente invention a permis de résoudre, à l'aide d'une structure géométrique appropriée de dynodes, le problème de trouver un compromis

10 entre le gain et la résolution spatiale, qui font intervenir ce paramètre dans des sens opposés. Ceci constitue donc un premier élément de l'invention.

A côté de cela, l'invention prévoit aussi que chaque étage

15 de dynode est agencé de sorte que la majorité des électrons secondaires partant effectivement d'une lamelle de son premier plan ne frappe pas une lamelle de son second plan, tandis que la distance entre deux étages de dynodes consécutifs, grande par rapport à la distance

20 entre les deux plans d'un même étage, est choisie, en fonction du champ électrique, de sorte que les électrons secondaires provenant de l'étage amont frappent selon une distribution concentrée un nombre restreint de lamelles de l'étage aval.

25 L'expression partant "effectivement" d'une lamelle d'un plan de lamelles donné est utilisée ici pour tenir compte du fait qu'un électron secondaire peut être recapturé soit par la lamelle qui lui a donné naissance, soit par une

30 autre lamelle du même plan.

Selon une autre caractéristique de l'invention, les lamelles, qui sont prismatiques ou cylindriques, ont une section droite qui fait saillie du côté de la fenêtre

35 d'entrée, avec deux flancs capables d'émission secondaire et qui se présentent de façon sensiblement symétrique par rapport à la direction générale du champ électrique; la

distance entre étages de dynodes est choisie de sorte que les électrons secondaires provenant de l'étage amont frappent de manière sensiblement équilibrée les flancs de lamelles de l'étage aval qui ont des inclinaisons

5 symétriques, ce qui permet d'éviter une dérive systématique de la localisation.

Dans un mode de réalisation particulier, que l'on préfère actuellement, la section droite des lamelles est

10 sensiblement en forme de triangle isocèle, où les deux angles égaux valent entre 40° et 70° environ. Il peut s'agir bien entendu d'un triangle curviligne, ou dont les côtés sont déformés d'une autre manière, compte tenu des tolérances d'usinage applicables à l'échelle des lamelles.

15

Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, les électrons secondaires provenant d'un flanc d'une lamelle d'un étage amont ne frappent en majorité que deux lamelles voisines du premier plan de

20 l'étage aval suivant, et une lamelle du second plan de ce même étage aval.

Avantageusement, la distance entre étages de dynodes consécutifs est choisie pour déséquilibrer légèrement la

25 symétrie d'impact, sur l'étage aval, des électrons secondaires provenant ainsi de l'étage amont, afin d'éviter un décalage de la localisation spatiale dû à l'inclinaison des flancs.

30 Bien que ces paramètres puissent dépendre de la réalisation particulière concernée, il est actuellement considéré que :

- la distance entre étages de dynodes consécutifs doit

35 être de l'ordre de huit à dix fois la largeur apparente des lamelles ;

- la distance entre les deux plans d'un même étage de dynode doit être de l'ordre du quart de la distance entre deux étages de dynodes consécutifs;
- 5 - la largeur apparente (sensiblement la largeur hors tout) des lamelles doit être au plus égale à environ 0,5mm;
- le champ électrique moyen à l'intérieur du tube électronique doit être au moins égal à environ 500
10 volts/centimètres;
- l'énergie initiale des électrons secondaires effectivement émis est, de préférence, au moins égale à 5 électrons-volt environ, et peut aller jusqu'à quelques
15 dizaines d'électrons-volt.

Toutes les lamelles du tube peuvent être parallèles, mais on peut aussi améliorer les propriétés de localisation en les orientant dans des directions différentes le long des
20 différents étages de dynodes, d'une manière régulière. Le plus simple est de rendre alors les lamelles d'un étage de dynode perpendiculaires à celles de l'étage précédent.

L'invention permet également une bonne détection pour un
25 photo-électron isolé (ou une particule chargée incidente isolée). A cet effet, il est prévu que la tension électrique régnant entre les deux plans d'un même étage de dynodes soit au plus égale à environ 50 volts, tout du moins pour les premiers étages de dynodes.

30

Selon une autre caractéristique encore de l'invention, on prévoit des moyens pour ajuster l'alimentation des électrodes, afin d'optimiser la résolution spatiale du dispositif multiplicateur d'électrons.

35

Suivant les applications, ce dernier peut comprendre une cathode ou une photocathode à proximité de la première

dynode.

Bien qu'une anode classique suffise en certains cas, il comprend en principe, comme anode, une anode divisée à connexions multiples, une surface électroluminescente, une
5 anode résistive ou tout moyen équivalent permettant d'utiliser la propriété de localisation.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée
10 ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe verticale d'un photomultiplicateur selon l'invention;
- 15 - la figure 2 est une vue en coupe horizontale du photomultiplicateur de la figure 1;
- la figure 3 est un schéma électrique illustrant l'interconnexion des électrodes du même photomultiplicateur;
- 20 - la figure 4 est un schéma partiel de deux étages de dynodes consécutifs du photomultiplicateur des figures 1 et 2; et
- 25 - la figure 5 est un diagramme tendant à permettre une interprétation de la résolution spatiale dans la direction X perpendiculaire à grande dimension des lamelles.

Dans la présente invention, la géométrie des principaux
30 constituants du tube multiplicateur d'électrons est importante. En conséquence, les dessins sont à considérer comme incorporés à la présente description, pour contribuer, le cas échéant, à compléter celle-ci, ainsi qu'à définir l'invention.

35 La description détaillée ci-après s'intéresse à un tube photomultiplicateur. Dans un tel tube, le signal incident

est délivré par des photons, dont on sait qu'ils peuvent exciter les dynodes d'un multiplicateur d'électrons, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une photocathode. Mais la présente invention peut avoir des applications
5 autres que photoniques, car, plus généralement, ce peuvent être les électrons eux-mêmes, ou d'autres types de particules chargées, qui définissent le signal d'entrée d'un tube multiplicateur d'électrons.

10 Sur les figures 1 et 2, le tube photomultiplicateur comporte une enceinte à vide TPM, qui loge ses constituants principaux. La figure 1 montre que cette enceinte possède en partie supérieure une fenêtre d'entrée plane FE. Juste derrière cette fenêtre est placée une
15 photocathode de proximité notée PPC. Au-dessous de celle-ci (figure 1), se trouvent prévus dix étages de dynodes D_1 à D_{10} . Ces derniers sont suivis, plus bas encore, d'une anode divisée en "mosaïque". Cette anode comporte un grand nombre d'éléments tels que A_1 et A_i ,
20 respectivement reliés à des connexions électriques de sortie individuelles EA_1 et EA_i . Dans leur ensemble, les éléments d'anode sont notés A_n . Enfin, d'autres connexions électriques telles que E_1 et E_j permettent de porter les électrodes internes du photomultiplicateur
25 aux potentiels convenables pour son fonctionnement.

La figure 2 montre en plus la forme généralement circulaire de la structure porteuse SP qui soutient les dynodes; cette structure est munie de colonnes isolantes
30 telles que CP.

La figure 3 illustre le schéma électrique associé au photomultiplicateur, dont l'enceinte TPM est rappelée en trait tireté. On y voit mieux que chaque étage de dynode
35 tel que D_1 comporte, selon l'invention, deux niveaux ou plans d'électrodes tels que D_{11} et D_{12} , placés l'un après l'autre le long de l'axe F de champ électrique du

tube, et perpendiculairement à cet axe.

La photocathode de proximité PPC est reliée à une tension - HT par la connexion électrique E_1 . A l'autre
5 extrémité, la connexion électrique E_2 est reliée à la masse. Un réseau diviseur de tension à résistances est monté entre la ligne E_2 et la ligne E_1 afin d'apporter à chacun des plans de dynodes une tension électrique appropriée. Par la haute tension d'alimentation, on
10 définit la différence de potentiel, donc le champ électrique, entre les différents plans de dynodes. Les résistances sont ajustées de manière que ce champ électrique soit rendu aussi uniforme que possible.

15 En pratique, en dehors des résistances d'extrémités R_0 et R_3 , on prévoit une résistance R_1 entre le premier plan de chaque dynode (par exemple le plan D_{21} de la dynode D_2), et le dernier plan de la dynode précédente (en l'espèce le plan D_{12} de la dynode D_1). Une
20 résistance R_2 , plus faible, est prévue entre les deux plans de chaque étage de dynodes (par exemple entre les plans D_{21} et D_{22} de la dynode D_2). L'adjonction de capacités pourra éventuellement être requise en certains points de ce réseau résistif série, en particulier aux
25 derniers étages. Les anodes A_n sont connectées à la masse par des résistances individuelles.

La figure 4 illustre à plus grande échelle deux étages de dynodes consécutifs, qui sont supposés être les étages D_1
30 et D_2 . Comme précédemment indiqué, l'étage D_1 comprend deux plans D_{11} et D_{12} d'éléments de dynodes. L'étage D_2 comprend lui aussi deux plans D_{21} et D_{22} d'éléments de dynodes.

Individuellement, les éléments de dynodes sont des
35 lamelles prismatiques ou cylindriques, parallèles entre elles, et bien entendu coplanaires à l'intérieur d'un même plan de dynodes. Ces lamelles sont convenablement traitées

- pour posséder la propriété d'émission électronique secondaire, sur leurs faces orientées du côté de la fenêtre d'entrée FE, c'est-à-dire pour toute arrivée dans la direction P d'un photon ou d'une particule chargée telle qu'un électron. Cette direction P est parallèle ou faiblement inclinée sur la direction générale de l'axe F, selon lequel s'établit approximativement le champ électrique à l'intérieur du tube.
- 10 Il est actuellement considéré comme préférable d'utiliser des éléments de dynodes dont la section droite est en forme de triangle isocèle. La base B, adjacente aux deux angles égaux du triangle isocèle, est perpendiculaire à la direction générale F. Elle est tournée vers l'aval. Les deux côtés égaux L et R du triangle isocèle sont rendus capables d'émission électronique secondaire, et l'on observe qu'ils font face symétriquement à la direction générale d'incidence P. Pour sa part, l'angle α est avantageusement compris entre 40 et 70° environ. Dans l'exemple illustré, les lamelles ont une section droite en triangle rectangle isocèle.

- La "largeur apparente" des lamelles peut être définie comme la largeur hors tout qu'elles présentent, perpendiculairement à la direction F. Cette largeur est ici égale à la base B du triangle rectangle isocèle, qui mesure environ 0,5mm dans cet exemple. Un espacement de 0,5mm est également prévu entre les sommets adjacents (d'angle α) de deux lamelles d'un même plan de dynodes.
- 30 Enfin, les lamelles du second plan d'un étage de dynode, par exemple le plan D_{12} de l'étage D_1 , sont intercalées avec celles du plan précédent, ici D_{11} . De ce fait, l'ensemble des éléments de dynodes des deux plans d'un même étage de dynode apparaît comme un obstacle, ou une chicane, pour les trajectoires (électroniques) parallèles à la direction F.

Par ailleurs, on note Z_0 la distance entre deux plans de dynodes D_{11} et D_{12} d'un même étage, distance prise selon la direction F . On note Z_1 la distance prise de la même manière entre deux étages de dynodes consécutifs, c'est-à-dire par exemple entre le premier plan D_{11} de l'étage D_1 et le premier plan D_{21} de l'étage D_2 . De préférence, Z_1 est à peu près égal à quatre fois Z_0 .

Dans un mode de réalisation particulier, on prend $Z_0 = 1$ mm, et $Z_1 = 4$ mm, si bien que la distance entre deux étages de dynodes est de l'ordre de huit à dix fois la largeur apparente des lamelles formant les éléments de dynodes individuels.

Sur la figure 4, on considère maintenant les trajectoires des électrons secondaires qui partent du flanc droit de la lamelle D_{110} . N désigne la normale à ce flanc droit, au point de départ de ses électrons.

Il convient de définir aussi les limites inférieures de l'énergie initiale des émissions secondaires, ainsi que de l'angle d'émission, compté dans le sens trigonométrique par rapport à la normale $\vec{N}$. Cet angle d'émission est bien entendu limité aux électrons secondaires utiles,

c'est-à-dire ceux qui ne sont pas recapturés par le même plan de lamelles. Il a été observé que l'énergie initiale doit être supérieure à environ 5 électrons-volt, et que l'angle d'émission initial doit être inférieur à 45° , c'est-à-dire que les électrons secondaires utiles sont

compris dans un cône dont l'ouverture angulaire est de 45° par rapport à la normale.

Il a été également observé que la largeur des lamelles doit alors être au plus égale à 0,5mm, pour un champ électrique de 500 volts/cm. A cette valeur du champ correspond une tension de 50 volts entre les deux plans D_{11} et D_{12} de la dynode D_1 , puisque $Z_0 = 1$ mm.

Au-delà de cette limite supérieure pour la valeur , une partie importante des électrons secondaires émis par la lamelle sera recapturée par la surface émissive d'origine, en raison du fort champ électrique qui règne. Ce qui
 5 précède tient compte d'une loi angulaire d'émission des électrons secondaires autour de la normale $\vec{N}$ qui s'établit en cosinus θ .

Par ailleurs, un filtrage en énergie des électrons
 10 intervient, du fait de la présence de la lamelle adjacente D_{111} . Il a été observé que l'énergie maximale des électrons secondaires partant effectivement de la lamelle D_{110} s'établit à quelques dizaines d'électrons-volt, en l'espèce environ 15 électrons-volt.

15 Pour un angle d'émission donné, par exemple $=0^\circ$, on obtient de la sorte des trajectoires T_{lmin} et T_{lmax} correspondant respectivement à 5 électrons-volt et 15 électrons-volt. Ces trajectoires frappent pratiquement
 20 seulement les deux lamelles D_{211} et D_{212} qui font partie du premier plan D_{21} de l'étage de dynode suivant D_2 . La trajectoire possédant des énergies proches de ces valeurs extrêmes frappe les mêmes lamelles. Par contre, une partie des trajectoires d'énergie intermédiaire
 25 passent entre les lamelles D_{211} et D_{212} , pour venir frapper, de manière sensiblement symétrique, les deux flancs de la lamelle D_{222} , laquelle fait partie du second plan D_{22} de l'étage de dynode D_2 . On a représenté en T_{med} la trajectoire intermédiaire
 30 correspondant à une énergie d'environ 10 électrons-volt. Une observation attentive montre que l'une des trajectoires T_{ex} passerait entre les lamelles D_{212} et D_{222} . En fait, il s'agit d'une très petite fraction

(en termes de probabilité) des électrons secondaires émis. Un électron secondaire qui se propagerait suivant cette trajectoire serait d'ailleurs capté par l'étage de dynode suivant. De plus, on peut estimer que les effets de bords produits sur le champ électrique par les pointes des lamelles D_{212} et D_{222} permettraient en fait la capture effective de l'électron secondaire au niveau de la dynode D_2 , à la suite de quoi il peut alors émettre à nouveau des électrons secondaires, comme l'auront fait les autres trajectoires arrivant sur la dynode D_2 .

Alors que ce qui précède concerne le premier plan d'un étage de dynodes, il a été observé que le second plan permet aussi une localisation (Figure 4.).

Les conditions de fonctionnement qui viennent d'être décrites ne font intervenir que la projection des trajectoires électroniques sur le plan X-Z. Il a été observé cependant que l'on obtient ainsi un fonctionnement correct, en termes de localisation, non seulement dans la direction X, mais aussi dans la direction Y.

La description ci-dessus montre que :

- la distance Z_1 entre deux étages de dynodes consécutifs, qui est grande par rapport à la distance Z_0 entre les deux plans d'un même étage, peut être ajustée en fonction du champ électrique de sorte que les électrons secondaires provenant de l'étage amont D_1 frappent selon une distribution concentrée un nombre restreint de lamelles de l'étage aval D_2 ;

- de plus, lorsqu'on utilise, comme c'est le cas ici, des lamelles dont la section droite est symétrique autour de l'axe F, il a été observé que la distance Z_1 peut être choisie de sorte que les électrons secondaires provenant

du premier plan de l'étage amont frappent de manière sensiblement équilibrée des flancs des lamelles de l'étage aval qui ont des inclinaisons symétriques. Et ceci s'étend aux électrons secondaires provenant du second plan de l'étage amont.

Par ailleurs, il a été constaté que la distribution dans la direction Y parallèle à la grande dimension des lamelles est interprétée par une simple convolution des parcours latéraux des électrons secondaires au niveau de chacun des étages aval.

Il est maintenant fait référence à la figure 5.

Celle-ci montre la distribution probabiliste binomiale caractérisée par $p=q$, où p et q sont les probabilités qu'un électron secondaire frappe le flanc droit et le flanc gauche, respectivement, de lamelles de l'étage suivant. Les chiffres mis à l'intérieur d'un cercle sont proportionnels à la probabilité de production des électrons secondaires à partir d'un seul électron partant du premier étage de dynode ($n=1$), les autres étages étant numérotés de manière croissante sur l'axe vertical orienté vers le bas jusqu'à l'anode. L'axe horizontal correspond à des distances exprimées en unité du parcours latéral moyen des électrons secondaires au niveau de l'étage suivant. Ces distances sont notées $X(\rho)$.

Dans la direction X, il apparaît donc qu'on obtient au niveau de l'anode une distribution très concentrée des électrons secondaires, cette distribution étant pratiquement centrée sur l'axe initial F_0 . Le décalage tient principalement à l'inclinaison du flanc de la lamelle qui a donné le premier électron secondaire. Mais on n'observe pas, par la suite, une dérive globale du flux d'électrons secondaires par rapport à l'axe F_0 , dérive qui s'amplifierait d'un étage à l'autre (à condition que

p=q). Il en résulte finalement un léger décalage latéral, puisque si le nombre cerclé 126 de gauche se trouve bien sur l'axe F_0 à la figure 5, le nombre 126 cerclé de droite est légèrement décalé, ce qui correspond à un décalage de la distribution. Il a été observé que ce décalage peut être corrigé en faisant varier d'environ 10% les valeurs de p et de q. Ceci peut être obtenu en agissant sur la distance Z_1 , ainsi que le comprendra l'homme de l'art. Mais cette action joue de la même manière, quelle que soit l'inclinaison de la face ou flanc de lamelle ayant produit l'électron initial.

Le parcours latéral moyen, $\rho(E, Z)$ des électrons secondaires joue un rôle essentiel dans ce dispositif. Il s'est avéré en effet que la géométrie de dynodes peut être définie à partir de ce paramètre; par exemple :

- la largeur de lamelles l est choisie de façon que $\rho(E, Z=l/2)$ soit plus grand que $l/2$ (pour un gain élevé), mais que $\rho(E, Z=Z_1)$ soit le plus petit possible (pour une bonne localisation).
- la distance Z_1 est également choisie par un compromis entre la résolution, $\rho(E, Z=Z_1)$, et la largeur de la distribution des électrons, qui est également proportionnelle à ρ , et qui doit être suffisamment grande par rapport à l pour éviter la dérive systématique en X.

Un dispositif photomultiplicateur constitué comme décrit ci-dessus peut être logé dans un tube constitué comme suit:

- hauteur environ 65 mm;
- diamètre extérieur 134 mm ;
- fenêtre d'entrée de diamètre 100 mm, munie d'une

photocathode de proximité;

- étages de dynode comme décrit plus haut, avec une différence de potentiel d'environ 50 volts entre deux plans d'un même étage de dynode, et une différence de potentiel d'environ 200 volts entre étages de dynodes;

- anode divisée en 164 éléments d'environ $7 \times 7 \text{ mm}^2$, séparés d'un intervalle d'environ 0,5mm;

10

- on obtient ainsi un gain de 10^6 à 10^7 pour dix étages de dynodes.

A la base, la résolution obtenue est d'environ 12 mm dans la direction X transversale à la grande dimension des lamelles, et d'environ 10 mm dans la direction Y parallèle à la grande dimension des lamelles. On obtient en effet sensiblement la même résolution dans ces deux directions X et Y, bien que la structure d'un plan de lamelles donné ne soit pas du tout isotrope.

Pour égaliser encore la résolution en X et en Y, on peut bien entendu croiser alternativement le sens des lamelles dans les étages de dynodes successifs. La résolution spatiale optimale peut être obtenue aisément en ajustant la haute tension, ce qui agit globalement sur le champ électrique, voire même par une action plus fine sur le champ électrique au niveau de chacun des étages et des plans de dynodes.

30

Le photomultiplicateur ainsi obtenu présente une surface sensible très grande, pour une sensibilité qui peut devenir comparable à celle du dispositif antérieur. En effet, une résolution spatiale améliorée peut être encore obtenue en réduisant la dimension f des lamelles de dynodes, et en agissant de manière correspondante sur le champ électrique et les dimensions verticales (ou

35

longitudinales) du dispositif.

De telles caractéristiques de résolution sont suffisantes pour une grande partie des applications. Elles conviennent particulièrement bien pour des applications comme l'imagerie en rayons X ou en rayons γ .

Par exemple, lorsqu'on effectue une imagerie en rayons γ à l'aide d'une caméra du type Anger, constituée par un cristal d'iodure de sodium dont l'épaisseur est de 10 mm, et, comme détecteur, un réseau de photomultiplicateurs 2 pouces (50 mm), couplé directement au cristal, la résolution spatiale obtenue après calcul de barycentre est au mieux de l'ordre de 4 mm. Dans ces conditions, on observe que la résolution spatiale est dominée par la résolution du détecteur, environ 50 mm, ce qui est trop faible par rapport à la taille du spot des faisceaux de scintillation qui est d'environ deux fois l'épaisseur du cristal, soit 20 mm.

20

A ce niveau, même une résolution limitée des détecteurs peut améliorer la résolution finale par un facteur important. En effet, avec une résolution de 10 mm du photodétecteur, on peut atteindre une résolution finale de 1,6 mm.

25

C'est précisément ce que peut faire le dispositif photomultiplicateur décrit en détail plus haut.

Il convient enfin de noter par ailleurs les excellentes propriétés obtenues par le multiplicateur d'électrons selon l'invention, en termes de temps de réponse et de linéarité du gain, en plus de la résolution spatiale déjà mentionnée.

30

Revendications.

1. Dispositif multiplicateur d'électrons, comportant, dans un tube à vide, une succession d'électrodes planes
5 parallèles, qui définissent plusieurs étages de dynodes (D_1 - D_{10}) capables d'émission électronique secondaire, entre une fenêtre d'entrée (FE) et une anode de sortie (An) et des moyens (E_1, E_i, R_0-R_3) connectés à ces électrodes (D_1 - D_{10} , An) afin d'établir entre elles un
10 champ électrique accélérateur d'électrons, dont la direction générale est perpendiculaire aux électrodes, caractérisé en ce que chaque étage de dynode (D_1 - D_{10}) est défini en deux plans successifs ($D_{11}, D_{12}, \dots$) constitués chacun de lamelles parallèles interconnectées,
15 et que ces lamelles ($D_{110}, D_{120}, \dots$) sont décalées d'un plan à l'autre de façon que ces deux plans définissent ensemble un obstacle en chicane pour les trajectoires électroniques qui leur sont perpendiculaires, et
20 en ce que, chaque étage de dynode (D_1 - D_{10}) étant agencé de sorte que la majorité des électrons secondaires partant effectivement d'une lamelle ($D_{110}, \dots$) de son premier plan ne frappe pas une lamelle (D_{121}, D_{122}) de second plan,
25 la distance (Z_1) entre deux étages de dynodes consécutifs (D_1 - D_2), grande par rapport à la distance (Z_0) entre les deux plans (D_{11} - D_{12}) d'un même étage, est choisie, en fonction du champ électrique, de sorte que les
30 électrons secondaires provenant de l'étage amont (D_1) frappent selon une distribution concentrée un nombre restreint de lamelles de l'étage aval (D_2).
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce
35 que les lamelles, prismatiques ou cylindriques, ont une section droite qui fait saillie du côté de la fenêtre d'entrée, avec deux flancs (L,R) capables d'émission

secondaire et sensiblement symétriques par rapport à la direction générale (F) du champ électrique, et en ce que la distance (Z_1) entre étages de dynodes est choisie de sorte que les électrons secondaires provenant de l'étage
5 amont (D_1) frappent de manière sensiblement équilibrée des flancs des lamelles de l'étage aval qui ont des inclinaisons symétriques (D_{211}^R , D_{212}^L , D_{222}^R et L).

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce
10 que la section droite des lamelles est sensiblement en forme de triangle isocèle, où les deux angles égaux valent entre 40 et 70° environ.

4. Dispositif selon l'une des revendications 2 et 3,
15 caractérisé en ce que la distance (Z_1) entre étages de dynodes consécutifs est choisie pour déséquilibrer légèrement la symétrie d'impact, sur l'étage aval, des électrons secondaires provenant de l'étage amont, afin d'éviter un décalage de la localisation spatiale
20 dû à l'inclinaison des flancs.

5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la largeur apparente des lamelles est au plus égale à environ 0,5 mm.
25

6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le champ électrique moyen est au moins égal à environ 500 V/cm.

30 7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'énergie initiale des électrons secondaires effectivement émis est au moins égale à 5 électrons-volt, environ.

35 8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'énergie initiale des électrons secondaires effectivement émis est limitée à quelques dizaines

d'électrons-volt.

9. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins deux étages de dynodes
5 consécutifs ont leurs lamelles orientées dans des directions différentes, de préférence perpendiculaires.
10. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la tension électrique régnant entre
10 les deux plans d'un même étage de dynode est au plus égale à environ 50 volts, au moins pour les premiers étages, ce qui permet une bonne détection d'un photo-électron isolé.
11. Dispositif selon l'une des revendications précédentes,
15 caractérisé par des moyens pour ajuster l'alimentation des électrodes afin d'optimiser la résolution.
12. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend une cathode ou
20 photocathode (PPC) à proximité de la première dynode.
13. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend, comme anode (An), une anode divisée à connexions multiples, une surface
25 électro-luminescente, ou une anode résistive.

FIG. 1

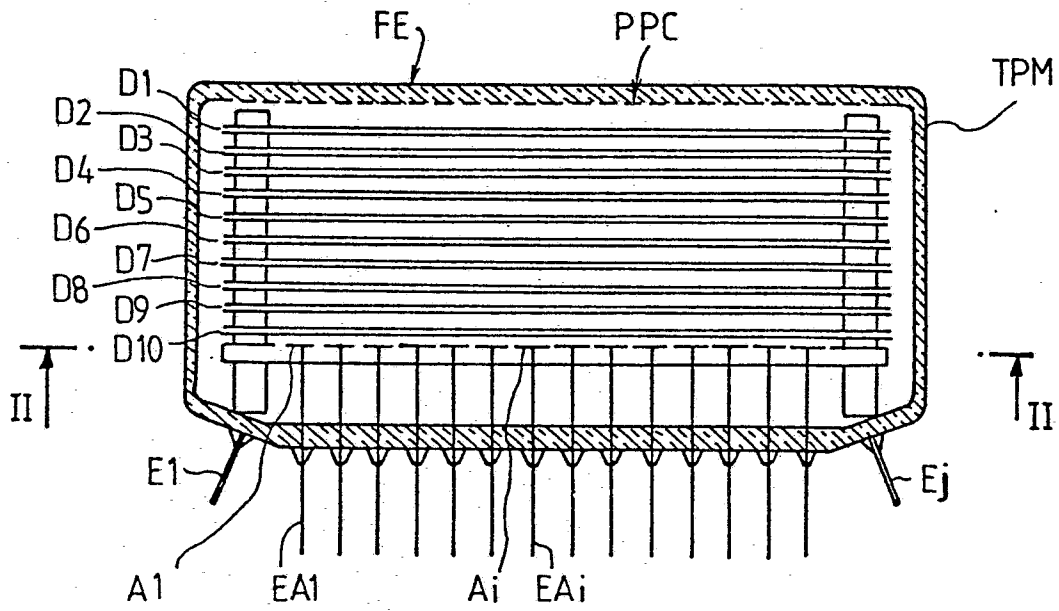
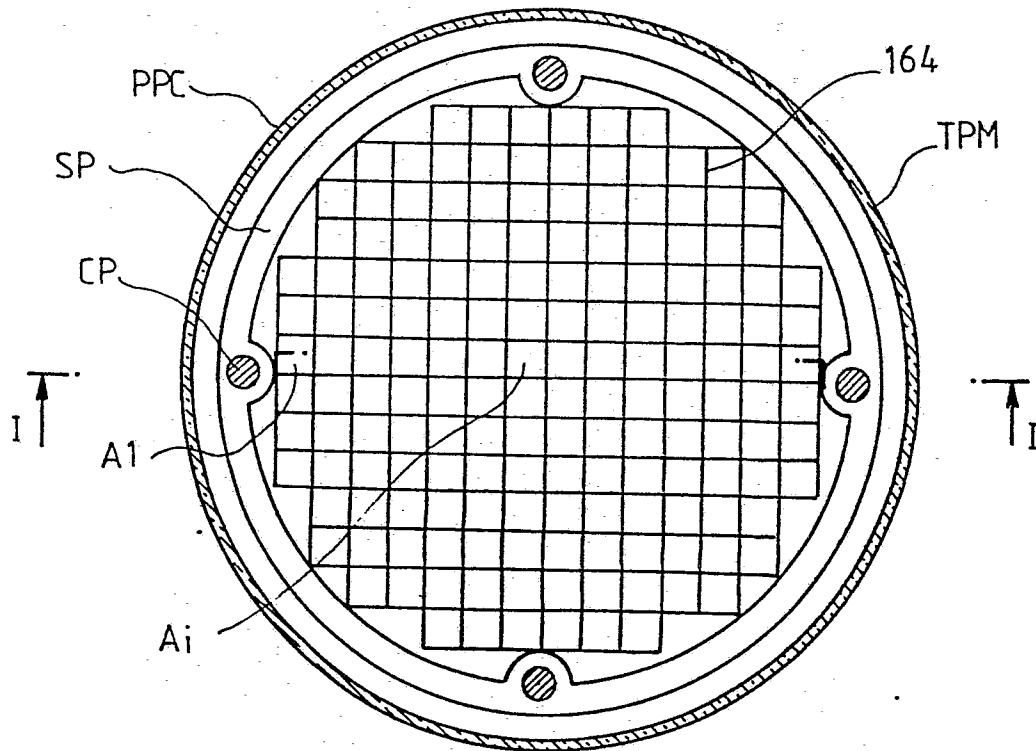
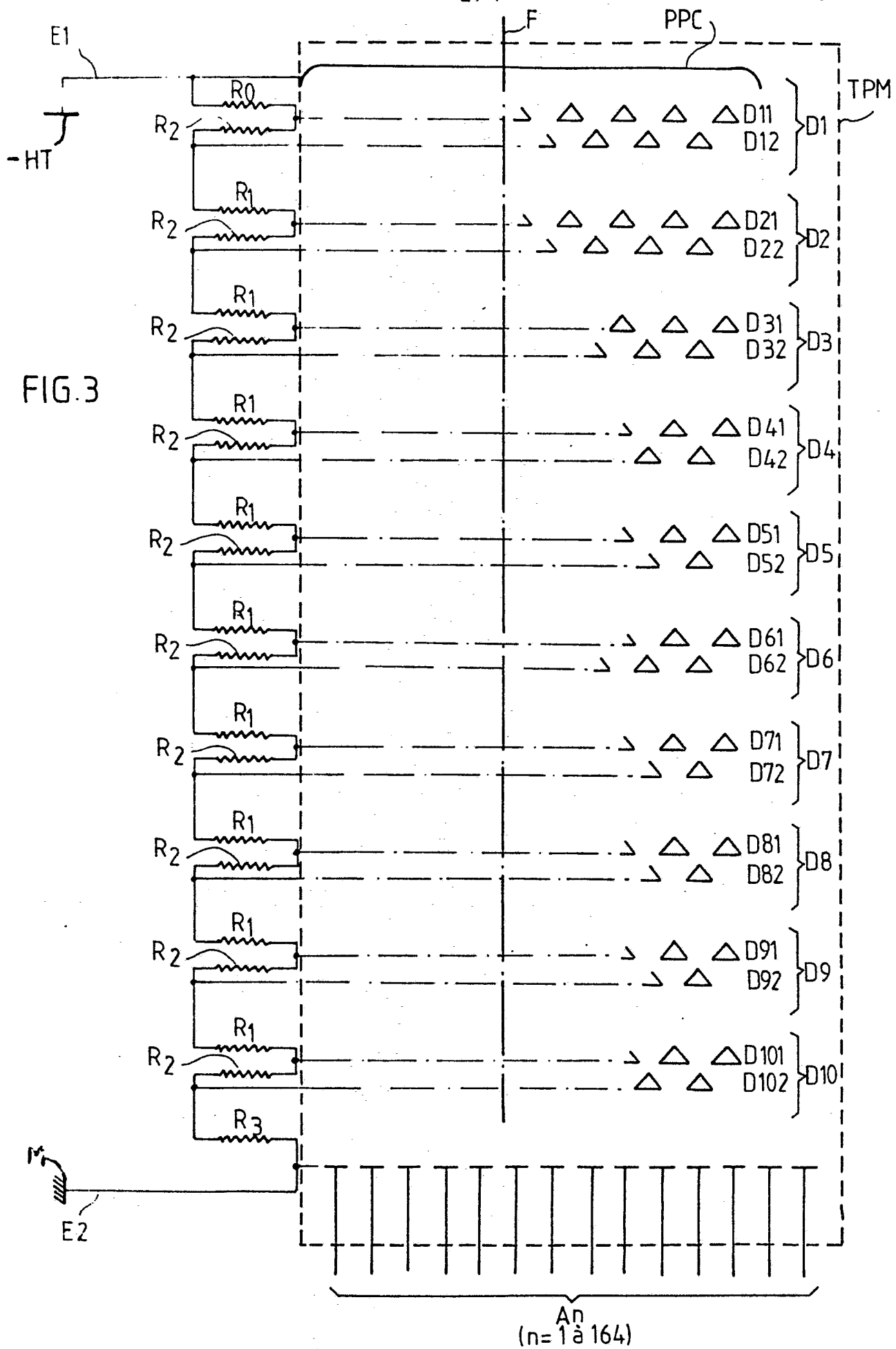


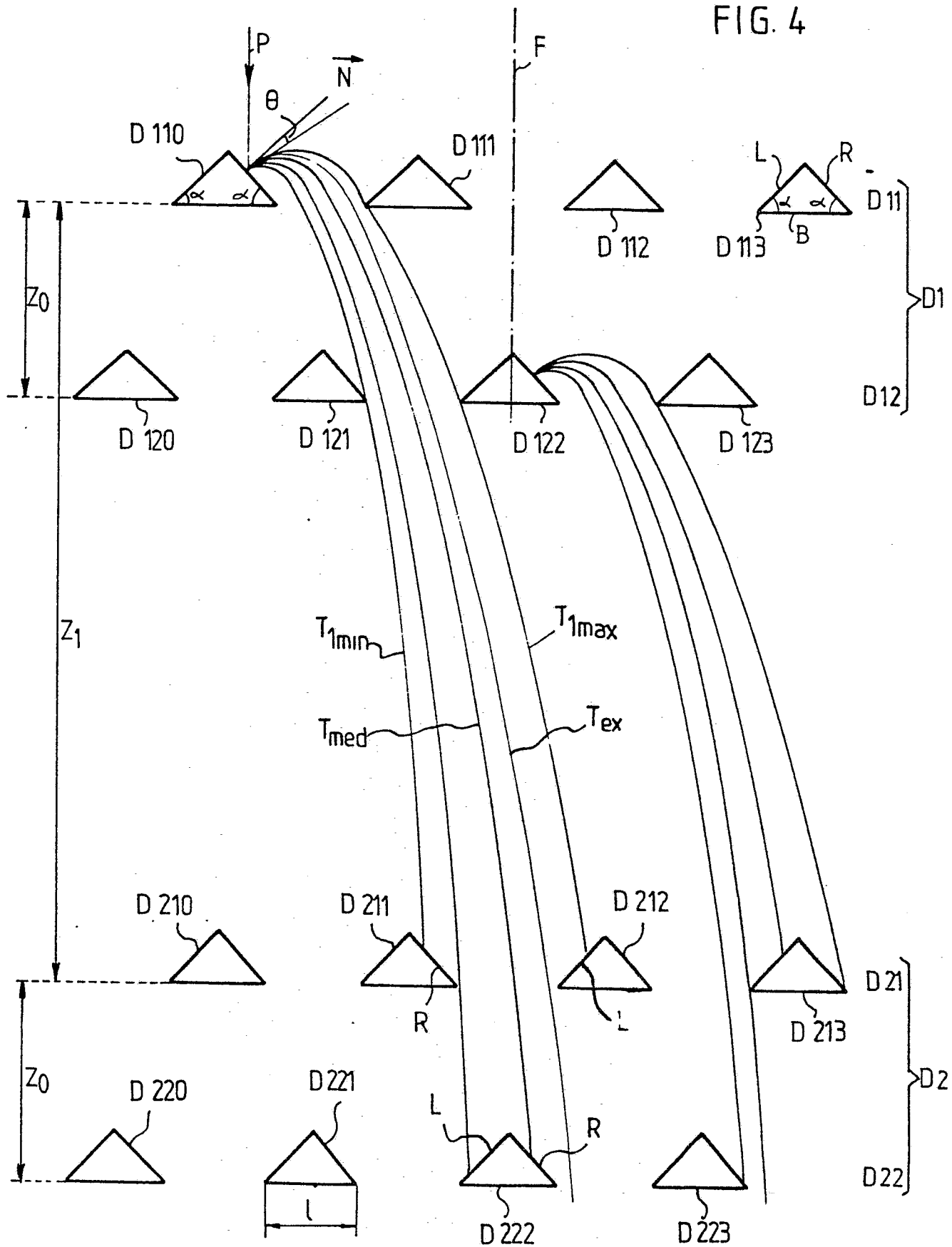
FIG. 2





3 / 4

FIG. 4



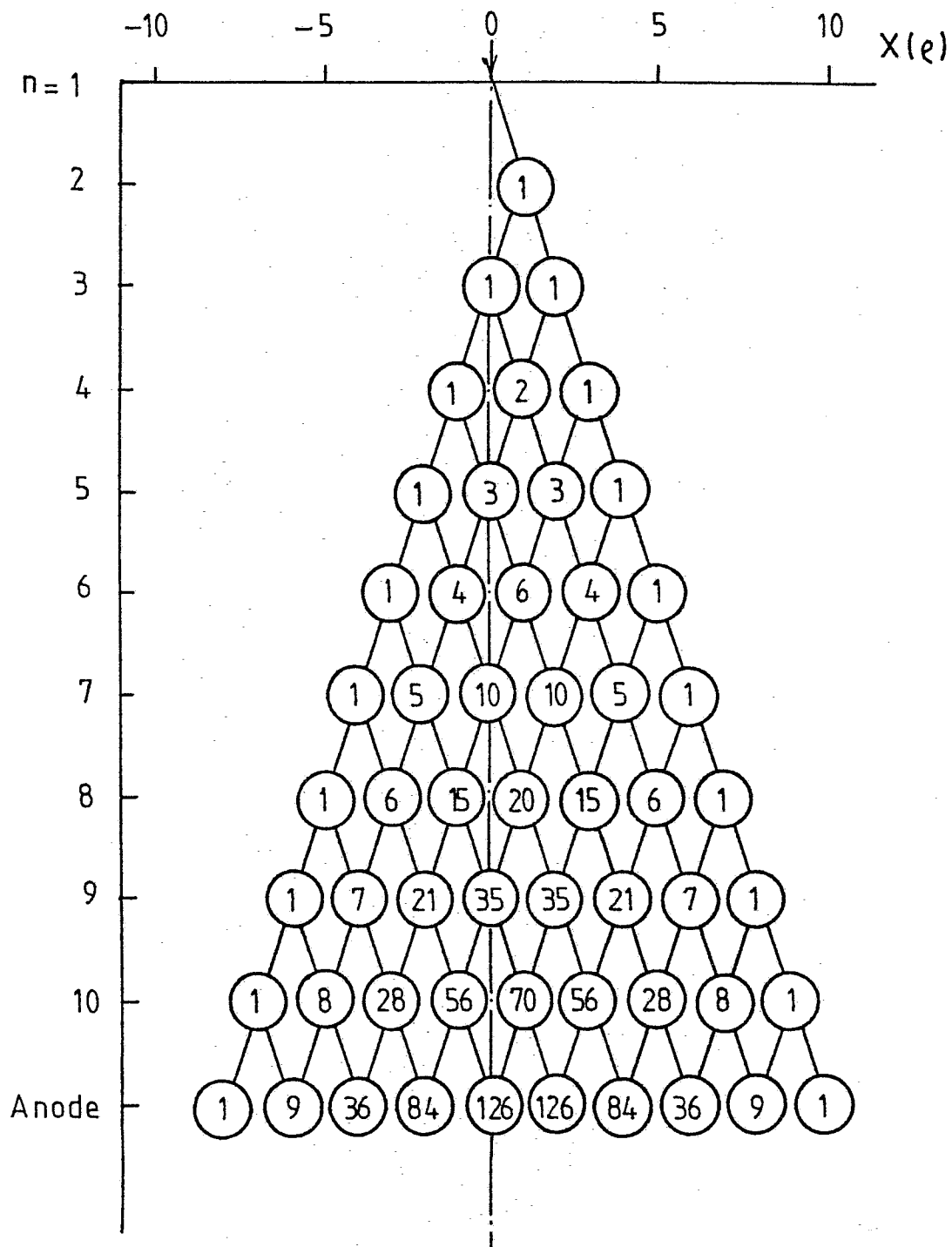


FIG. 5



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0165119

Numero de la demande

EP 85 40 0897

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 4)
A	REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, vol 52, no. 3, mars 1981, pages 337-346, New York, US; K. KURODA et al.: "New type of position sensitive photomultiplier" * Page 339; figure 5; page 340, paragraphe 2 *	1-3, 5, 13	H 01 J 43/22
A	EP-A-0 013 235 (ANVAR) * Figure 6; page 3, ligne 11 - page 5, ligne 30; page 11, ligne 4 - page 12, ligne 5; page 14, lignes 15-23; page 16, ligne 19 - page 18, ligne 1 * & FR - A - 2 445 018 (Cat.D,A)	1-3, 5, 6, 13	
A	US-A-3 579 017 (VESTAL) -----		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int Cl 4) H 01 J 43 H 01 J 31
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 07-08-1985	Examineur SCHAUB G.G.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 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			