

12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: 79401057.9

51 Int. Cl.³: **H 01 J 43/14**
H 01 J 43/22

22 Date de dépôt: 21.12.79

30 Priorité: 22.12.78 FR 7836148

43 Date de publication de la demande:
09.07.80 Bulletin 80/14

84 Etats Contractants Désignés:
AT BE CH DE GB IT LU NL SE

71 Demandeur: **ANVAR Agence Nationale de Valorisation de la Recherche**
13, rue Madeleine Michelis
F-92522 Neuilly-sur-Seine(FR)

72 Inventeur: **Kuroda, Kei-ichi**
2A Chemin de Mouille-Galand
CH-1214 Vernier Geneve(CH)

72 Inventeur: **Sillou, Daniel**
1, rue du Grand Bay Avanchet Parc
CH-1220 Geneve(CH)

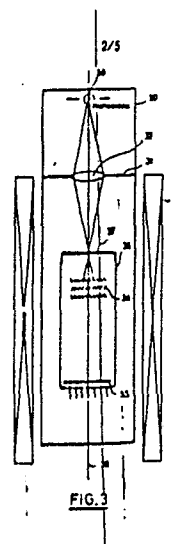
72 Inventeur: **Takeuchi, Fujio**
5660 Melvin Street
Pittsburgh PA 15217(US)

74 Mandataire: **Corre, Jacques Denis Paul et al,**
Cabinet Regimbeau 26, Avenue Kléber
F-75116 Paris(FR)

54 Tube multiplicateur d'électrons à champ magnétique axial.

57 Tube multiplicateur d'électrons, comprenant le long d'un axe principal une surface émettrice d'électrons 37, plusieurs étages 34 de dynodes à structure distribuée, capables d'émission secondaire électronique réflexe, et une surface réceptrice d'électrons 33, ainsi que des moyens produisant un champ électrique accélérateur d'électrons orienté généralement le long de l'axe principal, de la surface émettrice d'électrons à la surface réceptrice d'électrons. Il lui est associé un moyen 39 produisant un champ magnétique orienté généralement selon l'axe principal du tube.

Application notamment comme photomultiplicateur à haute résolution spatiale.



TUBE MULTIPLICATEUR D'ELECTRONS A CHAMP MAGNETIQUE AXIAL

La présente invention concerne les multiplicateurs d'électrons, et plus particulièrement les tubes photomultiplicateurs.

5 On sait que les tubes multiplicateurs d'électrons comportent classiquement, dans une enceinte tubulaire sous vide, d'abord une ou plusieurs électrodes formant cathode et source dirigée d'électrons, puis une série d'électrodes capables d'émission secondaire d'élec-
10 trons, ou dynodes, et enfin une anode formant collecteur d'électrons. Ces différentes électrodes sont disposées le long de l'axe principal du tube ; en fonctionnement, elles sont soumises à des potentiels propres à créer un champ électrique accélérant les électrons le long de ce
15 même axe. Pour les photomultiplicateurs, la source d'électrons, en matériau photosensible, est dénommée photocathode.

 On connaît plusieurs structures de dynodes. Dans un type de multiplicateurs d'électrons ("box-type"),
20 les dynodes comprennent chacune un seul élément, et les dynodes définissent ensemble une sorte de boîte canalisant les électrons, chaque dynode faisant face pour partie à la précédente et pour partie à la suivante.

 Dans d'autres multiplicateurs d'électrons,
25 chaque dynode est à structure distribuée comprenant plusieurs éléments actifs (assurant l'émission secondaire), qui s'étendent transversalement à l'axe principal du tube. Par exemple, chaque dynode est constituée de la-

melles rectangulaires parallèles entre elles dont le grand côté s'étend perpendiculairement à l'axe principal du tube, tandis que leur petit côté est incliné sur ce même axe. Par analogie, de telles dynodes sont dites
5 "vénitiennes", ou encore du type "persienne". Souvent, deux dynodes consécutives présentent une inclinaison alternée et symétrique par rapport à l'axe principal du tube.

On connaît aussi des multiplicateurs d'élec-
10 trons dits multi-canaux, dans lesquels on distingue les électrons arrivant sur l'anode d'après le point de la cathode où ils ont été engendrés. Ces dispositifs multicanaux présentent donc plusieurs anodes associées munies d'autant de connexions électriques. Leurs structures de dynodes sont diverses.
15

Bien qu'ils fonctionnent de manière acceptable ces multiplicateurs d'électrons multi-canaux souffrent en général d'une résolution spatiale médiocre : ils ne distinguent que quelques zones d'impact électronique, bien délimitées, au niveau de la cathode. Ils ne permettent pas en fait d'établir une véritable correspondance
20 générale entre l'impact d'un électron sur la cathode et l'impact sur l'anode des électrons multipliés en conséquence par les dynodes.

L'invention fournit un multiplicateur d'élec-
25 trons capable d'une telle correspondance, que l'on appellera dans la suite "localisation".

De façon à priori surprenante, alors que jusqu'à présent les champs magnétiques étaient considérés
30 comme très néfastes, les inventeurs ont observé qu'en appliquant, à un multiplicateur d'électrons équipé de dynodes à structure distribuée, un champ magnétique

orienté selon son axe principal, on peut obtenir une bien meilleure résolution spatiale, en conservant par ailleurs des caractéristiques de fonctionnement satisfaisantes.

5 Des recherches plus poussées ont montré que la résolution spatiale, les caractéristiques de gain, et la résolution temporelle s'améliorent lorsqu'on diminue la taille des éléments actifs sur le plan de l'émission
10 secondaire qui constituent les dynodes, tout en augmentant les champs électrique et magnétique.

Ainsi, le tube multiplicateur d'électrons proposé est du type comprenant le long d'un axe principal une surface émettrice d'électrons, plusieurs étages de
15 dynodes à structure distribuée, capables d'émission secondaire électronique réflexe, et une surface réceptrice d'électrons, ainsi que des moyens produisant un champ électrique accélérateur d'électrons orienté généralement le long de l'axe principal, de la surface émettrice d'électrons à la surface réceptrice d'électrons.

20 Selon l'invention, il lui est associé un moyen produisant un champ magnétique orienté généralement selon l'axe principal.

Par dynode à structure distribuée, capable d'émission électronique secondaire réflexe, on entend
25 une dynode dont la surface capable d'émission secondaire est discontinue, et disposée pour renvoyer les électrons secondaires du côté où est arrivé l'électron primaire.

Avantageusement, les dynodes comprennent des séries ou grilles d'éléments allongés ou barreaux, prismatiques ou cylindriques, et parallèles, chaque grille
30 étant sensiblement perpendiculaire à l'axe principal du tube. Bien qu'une telle grille n'offre en elle-même aucune possibilité de localisation des électrons le long de sa grande dimension, on observe, de façon également

surprenante, une résolution spatiale à peu près homogène dans toutes les directions perpendiculaires à l'axe principal du tube. Il est également très avantageux que chaque étage de dynode soit divisé en plusieurs niveaux ou sous-étages, décalés entre eux de telle manière que l'ensemble des différents sous-étages constituant une dynode soit vu par les électrons incidents pratiquement comme une surface opaque.

De préférence, la petite dimension des barreaux dans le plan perpendiculaire à l'axe principal, est inférieure à 1 mm environ, et l'écart entre deux barreaux adjacents est au moins égal à leur petite dimension. Ceci améliore conjointement la résolution spatiale et le gain. Il est alors souhaitable, quoique non absolument nécessaire, que le champ électrique soit supérieur à 200 V/cm, et que le champ magnétique soit supérieur à 50 Gauss. Dans les réalisations préférentielles de l'invention, la petite dimension des barreaux est 0,5 mm environ, et le champ électrique et le champ magnétique sont choisis corrélativement l'un à l'autre entre 400 et 1 000 V/cm environ, et entre 100 et 500 Gauss environ, respectivement.

Dans un premier mode de réalisation particulier, chaque dynode comprend deux grilles de barreaux espacées le long de l'axe principal ; dans chaque grille les barreaux sont espacés d'une distance égale à leur petite dimension ; les deux grilles sont décalées l'une par rapport à l'autre d'une distance égale à leur petite dimension ; et les champs électrique et magnétique sont corrélativement choisis pour qu'un électron secondaire émis par un barreau de la première grille passe statistiquement toujours entre les barreaux de la seconde grille (le mot statistiquement signifie ici qu'un

électron secondaire conserve néanmoins une certaine probabilité -très faible- d'atteindre les barreaux de la seconde grille).

5 Dans un autre mode de réalisation particulier, chaque dynode comprend n grilles de barreaux espacées le long de l'axe principal ; dans chaque grille les barreaux sont espacés de n fois leur petite dimension ; les n grilles sont successivement décalées dans le même sens d'une distance égale à leur petite dimension cha-
10 cune par rapport à la précédente ; et les champs électrique et magnétique sont corrélativement choisis pour qu'un électron secondaire émis par un barreau d'une grille sur une parallèle à l'axe principal repasse statistiquement sur la même parallèle sensiblement aux
15 niveaux de la grille suivante et de la n -ième grille.

Cette seconde structure fonctionne particulièrement bien pour $n = 5$.

Il est également avantageux que les barreaux aient une section droite symétrique par rapport à un
20 plan parallèle à l'axe principal du tube et passant par l'axe de leur plus grande dimension. Ceci procure une meilleure homogénéité du champ électrique, et améliore la résolution spatiale.

En pratique, la section droite des barreaux
25 est du genre triangle rectangle isocèle d'hypoténuse dirigée vers l'aval des trajectoires électroniques, du genre circulaire, ou du genre rectangle plat d'inclinaison prédéterminée sur l'axe principal, les barreaux étant alors des lamelles. Mais d'autres types de section
30 droite peuvent être envisagés.

L'application principale étudiée a été celle des photo-multiplieurs, mais l'invention s'applique

généralement à tout type de tube multiplicateur d'électrons dont les dynodes, à structure distribuée, sont capables d'émission secondaire réflexe. Les surfaces émettrice et réceptrice d'électrons qui encadrent ces
5 dynodes peuvent prendre différentes formes.

Ainsi, la surface émettrice d'électrons peut être une électrode émissive d'électrons, cathode ou photocathode, ou une surface transparente à des électrons d'origine externe. De son côté, la surface réceptrice d'électrons peut être une anode divisée à connexions multiples, une surface électroluminescente ou une
10 surface mosaïque analysable par faisceau d'électrons, comme on le verra plus loin.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, faite en référence, aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une coupe simplifiée d'un photomultiplicateur classique à dynodes vénitiennes,
- 20 - la figure 2 est une coupe très schématique illustrant les trajectoires électroniques dans un photomultiplicateur classique,
- la figure 3 est une vue en coupe d'un dispositif expérimental incluant un tube photomultiplicateur soumis à un champ magnétique axial,
- 25 - les figures 4 et 5 sont des diagrammes relatifs au dispositif expérimental de la figure 3, et
- les figures 6 à 8 sont des schémas en perspective cavalière illustrant différentes géométries de
30 dynodes utilisables selon la présente invention.

Bien que le dispositif expérimental qui sera décrit ci-après intéresse un photomultiplicateur, ses caractéristiques sont applicables à tout type de tube

multiplicateur d'électrons, le comportement de ceux-ci étant sensiblement le même quelle que soit leur origine.

La figure 1 est une vue schématique en coupe d'un tube photomultiplicateur classique à dynodes vénitiennes. Dans une ampoule de verre sous vide 1, une photocathode 2 est disposée pour recevoir un faisceau lumineux L. En matériau photoélectrique, cette cathode réagit à chaque photon en émettant un électron primaire, canalisé par une électrode 3. Les électrons primaires se dirigent vers une série de 10 dynodes, référencées 4 à 13, et suivies d'une anode 14. L'ensemble des électrodes est polarisé par des potentiels propres à créer un champ électrique accélérateur d'électrons de la cathode vers l'anode -axe principal du tube.

Chaque dynode, de structure distribuée, comporte une pluralité de lamelles parallèles et inclinées qui s'étendent perpendiculairement au plan de la figure 1, et s'échelonnent verticalement dans le plan de la figure 1. Par exemple, dans un mode de réalisation, les lamelles sont rectangulaires, de longueur 30 mm et de largeur 3 mm; leur petit côté est incliné à 45° sur l'axe principal du tube, le sens d'inclinaison étant alterné d'une dynode à l'autre.

La surface des dynodes est réalisée en matériau capable d'émission électronique secondaire, c'est-à-dire que, frappée par un électron, chaque dynode va émettre plusieurs électrons secondaires du côté où est arrivé l'électron primaire. Et les électrons secondaires sont à leur tour accélérés et conduits par le champ électrique vers la dynode suivante.

La figure 2 illustre très schématiquement ce processus, et montre comment, pour un photon arrivant en A sur la photo-cathode, l'anode reçoit des électrons sur une assez large surface notée D.

Jusqu'à présent, les champs magnétiques étaient considérés comme très néfastes aux qualités essentielles d'un tube photomultiplicateur, qui sont le gain (facteur multiplicateur d'électrons), avec sa linéarité et son homogénéité, ainsi que la résolution temporelle, c'est-à-dire l'intervalle de temps minimum requis entre deux électrons primaires pour que l'anode du tube offre des signaux distincts. En particulier, les tubes sont très souvent protégés soigneusement des champs magnétiques à l'aide d'un blindage en mu-métal.

Les inventeurs ont néanmoins eu l'idée d'étudier plus précisément les effets des champs magnétiques, à l'aide du dispositif expérimental de la figure 3. Une enceinte obscure 30 comporte une cloison interne 31 logeant une lentille convergente 32. De part et d'autre de celle-ci sont logées dans l'enceinte une photodiode 35 (source ponctuelle de 0,5 mm) et un tube photomultiplicateur 36. La photodiode est mobile dans un plan qui est l'homologue par rapport à la lentille du plan de la photocathode 37 du tube 36. Ainsi l'image ponctuelle de la photodiode va pouvoir balayer toute la surface de la photocathode. Le tube comporte plusieurs étages de dynodes 34 et une anode 33.

Le tube 36 est par exemple le modèle EMI 6262, polarisé de manière classique avec une haute tension de 1 500 Volts. Enfin, une bobine 39 produit un champ magnétique orienté suivant l'axe principal 38 du tube, par exemple vers le bas (le sens du champ magnétique s'est avéré avoir peu d'importance jusqu'à présent).

La figure 4 illustre en ordonnée le signal de sortie du tube en échelle logarithmique, en fonction du champ magnétique appliqué, porté linéairement en abscisse. Pour chaque valeur du champ, la photodiode a été

placée en deux positions correspondant aux deux bords d'une des lamelles constituant les dynodes. Les points marqués "+" et "o" correspondent respectivement aux bords inférieur et supérieur de la lamelle.

5 A champ magnétique nul, les deux points se confondent, et le gain est G_0 ; Au fur et à mesure qu'augmente le champ magnétique, le gain décroît, et les deux points "+" et "o" se séparent de plus en plus. On constate la chute rapide du gain au dessus de $B = 30$
10 Gauss, tandis qu'au dessous de cette valeur, le gain reste sensiblement constant. Les inventeurs ont estimé que la valeur de 30 Gauss correspond à un rayon de courbure des trajectoires électroniques dans le champ magnétique de l'ordre de grandeur de la largeur des lamelles
15 (3 mm). Lorsque le champ B dépasse 30 Gauss, le rayon de courbure de la trajectoire d'un électron secondaire émis par un dynode est faible, et l'électron a de grandes chances d'être recapturé par la lamelle, d'où la diminution rapide du gain avec le champ magnétique. Au contrai-
20 re, lorsque le champ B est inférieur à 30 Gauss, l'électron a les plus grandes chances de gagner la dynode suivante, d'où le gain sensiblement constant.

La figure 5 illustre, pour un champ magnétique de 120 Gauss, le signal de sortie du tube porté en ordon-
25 née et en échelle logarithmique, en fonction de la position du point lumineux sur la cathode, porté linéairement en abscisse. Cette figure montre que le gain varie en fonction de la position de la source lumineuse, et que l'allure du gain reflète la structure en lamelles des
30 dynodes.

Ceci confirme le rôle du rayon de courbure des trajectoires électroniques, car un électron secondaire

émis près du bord supérieur d'une lamelle a plus de chances d'être recapturé par celle-ci que l'électron secondaire émis près du bord inférieur.

5 Les inventeurs ont observé aussi une canalisation des trajectoires électroniques autour de l'axe du champ B. Si l'on revient à la figure 3, le domaine D devient d'autant plus petit que le champ B est plus élevé. Là encore, cela est du au rayon de courbure imposé aux trajectoires électroniques par le champ magnétique.
10 Il en résulte la possibilité de localiser au niveau de l'anode l'origine A de l'électron primaire, en utilisant par exemple une anode fractionnée ou multi-anode.

L'effet de localisation du au champ magnétique est acquis à l'aide du tube multiplicateur d'électrons agencé selon la figure 3. En effet, ce tube conserve des propriétés multiplicatrices réelles, malgré un gain inférieur à la valeur G_0 à champ nul.
15

Les résultats expérimentaux portés aux figures 4 et 5 montrent que l'on peut améliorer le gain en réduisant la largeur des lamelles d'après le rayon de courbure imposé aux trajectoires électroniques par le champ magnétique.
20

Des recherches plus poussées ont été faites en ce sens, à l'aide notamment d'une simulation des phénomènes intervenant dans un tube photomultiplicateur à dynodes vénitiennes tel que celui de la figure 1.
25

Effectuée sur ordinateur à l'aide d'un programme de Monte Carlo, la simulation a pris en compte la configuration géométrique du tube, la valeur des potentiels entre électrodes, les données expérimentales sur l'émission secondaire des dynodes, ainsi que les effets accessoires tels que perte sur les bords et charge d'espace.
30

Le champ électrique étant ainsi bien établi,

de même que l'émission secondaire, les effets du champ magnétique sur les trajectoires électroniques ont pu être étudiés.

La simulation et ses vérifications expérimentales ont permis d'aboutir à plusieurs structures particulières de dynodes qui procurent une bonne localisation, ainsi qu'un gain amélioré.

La figure 6 illustre la première de ces structures, considérée actuellement comme préférentielle. Chaque dynode comprend ici deux niveaux. Ainsi la dynode D_{n-1} comprend les niveaux 61 et 62. Le niveau 61 comprend une série de lamelles ou plutôt de barreaux allongés dont la section est un triangle rectangle isocèle de base 0,5 mm. La base est perpendiculaire à l'axe principal du tube, et exposée à la dynode suivante. L'intervalle libre entre les sommets des bases de deux barreaux adjacents est également de 0,5 mm. Le second niveau 62, placé à 2,5 mm du premier, est constitué de la même manière, mais ses barreaux sont alignés sur les espaces libres entre ceux de l'étage précédent, de sorte que vu de dessus l'ensemble de la dynode constitue une structure sans espace libre. La seconde dynode D_n est semblable à la première, son premier niveau 63 étant décalé de 10 mm par rapport au niveau 61. Enfin, les surfaces actives sur le plan de l'émission électronique secondaire sont à chaque niveau les deux surfaces inclinées à 45° , définies par les côtés de l'angle droit du triangle rectangle isocèle. Une tension de 150 Volts est établie entre les niveaux 61 et 62, une tension de 600 Volts entre les étages 61 et 63, et à nouveau une tension de 150 Volts entre les étages 63 et 64, la polarisation se répétant ainsi périodiquement pour l'ensemble des dynodes.

Avec 14 dynodes (à deux niveaux chacune), un champ électrique de 600 Volts/cm et un champ magnétique de 400 Gauss, un tel multiplicateur d'électrons est susceptible d'atteindre une résolution spatiale (à mi-hauteur) de $\pm 1,5$ mm pour un gain de l'ordre de 10^7 . Une autre structure, estimée moins intéressante car plus complexe, est illustrée sur la figure 7. La notion de dynodes séparées est diluée dans cette structure, car l'ensemble des dynodes est constitué d'un grand nombre de niveaux équidistants, tels 71 à 76 qui en représentent une partie. Chaque niveau comprend des barreaux identiques à ceux de la figure 6, mais séparés par un espace libre de 2,0 mm. Les barreaux d'un niveau donné sont décalés de 0,5 mm par rapport à ceux du niveau précédent, vers la gauche par exemple. Ainsi, le second barreau du niveau 76 se trouve à la verticale du premier barreau du niveau 71, à partir de la gauche. L'ensemble des niveaux 71 à 75 forme un système opaque pour un faisceau d'électrons parallèles à l'axe z. Bien que la structure soit régulière selon l'axe Oz, on peut donc considérer qu'un étage de dynode correspond à 5 grilles ou niveaux consécutifs, tels 71 à 75. Le pas entre étages est de 12,5 mm. Avec 14 étages, un champ magnétique de 410 Gauss, et un potentiel augmentant de 400 Volts par étage, (soit un champ électrique d'environ 400 Volts/cm), un tel multiplicateur d'électrons est susceptible d'atteindre une résolution spatiale (à mi-hauteur de la distribution des impacts sur l'anode) de $\pm 1,5$ mm, pour un gain de l'ordre de 10^7 .

Généralement, les inventeurs ont observé que les structures de dynodes dont les barreaux ont une section symétrique par rapport à l'axe z sont avantageuses, comme procurant une meilleure homogénéité du champ

électrique, et par là une meilleure résolution spatiale. A cet égard, on peut bien entendu remplacer les barreaux à section droite en triangle rectangle isocèle par des barreaux équivalents, par exemple à section circulaire et de diamètre voisin de la dimension de la base ou hypoténuse du triangle isocèle, rendus capables d'émission secondaire au moins sur leur partie supérieure.

Une autre structure de dynodes est illustrée sur la figure 8. Comme celle de la figure 7, elle présente des niveaux 81 à 86 d'éléments actifs régulièrement répartis selon l'axe Oz, et décalés successivement d'une valeur égale à la petite dimension de ces éléments actifs, projetée sur l'axe x (0,5 mm) ; là encore, l'espace libre entre deux éléments actifs est de 2,0 mm, si bien que les éléments actifs du niveau 86 se trouvent à la verticale de ceux du niveau 81. Mais, cette fois, au lieu des barreaux à section triangulaire, les éléments actifs sont des lamelles vénitiennes, inclinées à 45° toutes du même côté, et dont seule la face orientée vers le haut est capable d'émission secondaire. Un étage est ici encore constitué de 5 niveaux adjacents de lamelles, et le pas entre étages est de 5 mm. Avec 14 étages, une tension entre étages de 300 Volts (soit un champ électrique de 600 Volts/cm et un champ magnétique de 230 Gauss, la résolution spatiale à mi-hauteur est de ± 2 mm, et le gain de l'ordre de 10^8 .

La remarque faite quant au rôle de la symétrie des éléments actifs par rapport à l'axe z se trouve donc confirmée, puisque la résolution spatiale est moins bonne que dans le cas des figures 6 et 7. En revanche, le gain est meilleur.

Une autre observation importante et surprenante a été faite. Les structures proposées sont distri-

buées selon l'axe x, mais continuent suivant l'axe y. On pourrait donc s'attendre à n'avoir aucune localisation des électrons dans la direction de l'axe y. En réalité, on obtient dans la direction y une résolution spatiale pratiquement équivalente à celle de la direction x ; par voie de conséquence, il en est de même dans toutes les directions du plan de la photocathode. Il est estimé que cette propriété remarquable est due à la courbure des trajectoires électroniques du fait du champ magnétique appliqué.

Les explications suivantes ont été développées à propos du fonctionnement des structures des figures 6 à 8 :

Figure 6 :

Si un électron primaire frappe la grille 61, les électrons secondaires ainsi produits doivent passer entre les barreaux de la grille 62 pour aller atteindre l'une ou l'autre des grilles 63 et 64, et ainsi de suite, compte tenu des dimensions de la géométrie de la structure. On dira alors que les trajectoires des électrons issus de la grille 61 forment un noeud entre les barreaux de la grille 62.

Figure 7 :

Les trajectoires des électrons secondaires issus de la grille 71 forment un premier noeud au niveau de la grille 72 ($z = 2,5$ mm), entre ses barreaux. Elles forment un second noeud pour $z = 10,5$ mm soit légèrement en dessous de la grille 75. Les deux noeuds sont sensiblement alignés avec le point d'émission dans la direction z, et les électrons ont alors les plus grandes chances de toucher la grille 76 ou une autre des grilles consécutives formant l'étage suivant, en évitant les grilles 72 à 75.

Figure 8 :

Les trajectoires sont plus complexes, en raison de la moins bonne homogénéité du champ électrique, due à l'asymétrie des lamelles par rapport à l'axe z.

5 Il semble néanmoins que les conditions quant aux noeuds des trajectoires soient comparables à celles de la structure illustrée figure 7.

10 Dans tous les cas, la réalisation de ces conditions de noeuds de trajectoire, que l'on appelle ici "focalisation hélicoïdale" tient au rapport entre les champs électrique et magnétique, compte tenu de la géométrie et de la structure et de ses dimensions. C'est cette focalisation hélicoïdale qui donne la propriété de localisation des trajectoires électroniques, c'est-à-dire la bonne résolution spatiale dans le plan xy. A cet égard, il a été observé que si l'on multiplie conjointement les champs électrique et magnétique par un facteur K, tout en divisant les dimensions de la structure et le temps par le même facteur K, l'équation du mouvement électronique reste inchangée.

20 Bien entendu, la résolution spatiale pourra être d'autant meilleure que les éléments actifs des grilles seront rendus plus fins, les champs électrique et magnétique étant alors augmentés en conséquence.

25 Il a également été observé que les multiplicateurs d'électrons selon l'invention possèdent une meilleure résolution temporelle, que les photomultiplicateurs du type persienne, leur temps de montée pouvant descendre à moins de 2 nanosecondes (10 à 90 % du pic de courant) contre environ 10 nanosecondes pour la plupart des photomultiplicateurs classiques à dynodes vénitien-

30 nes.

Il a encore été observé que les multiplica-

teurs d'électrons sont moins sujets à des problèmes de charge d'espace dans les derniers étages que ceux de la technique antérieure. En effet, ils présentent une meilleure linéarité du gain en fonction du courant d'électrons, par rapport aux photomultiplicateurs à dynodes vénitiennes, sinon à ceux dits "box-type".

Ces retombées des structures décrites plus haut constituent elles aussi des avantages importants de la présente invention, que l'on peut utiliser indépendamment de la localisation.

L'invention fournit essentiellement un tube multiplicateur d'électrons capable de localisation, c'est-à-dire dans lequel il existe une correspondance fine entre les points de départ des électrons sur la surface d'entrée du tube et les points d'arrivée des électrons sur la surface de sortie du tube. La finesse de cette correspondance est définie par la résolution spatiale.

L'application actuellement préférée est celle des photomultiplicateurs, la surface d'entrée étant alors une photocathode. On peut cependant appliquer l'invention avec toutes sortes de cathodes émettant sélectivement les électrons sur leur surface (cathode divisée par exemple). On peut encore injecter à travers la surface d'entrée du tube des électrons produits par une autre source (accélérateur d'électrons par exemple). Le terme "surface émettrice d'électrons" couvre ici l'ensemble de ces situations.

La surface de sortie du tube, ou "surface réceptrice d'électrons", devra bien entendu permettre une détection sélective des électrons suivant leur point d'arrivée. La réalisation la plus simple en est une anode divisée en fragments, munis de connexions électriques

individuelles. La résolution spatiale "brute" ainsi permise (par exemple $\Delta x = \pm 2$ mm) est naturellement limitée par les dimensions des fragments d'anode. Cette résolution spatiale brute peut être améliorée sensiblement si l'on traite les signaux provenant des différents fragments d'anode, le traitement comprenant l'analyse en amplitude des signaux issus de plusieurs fragments d'anode adjacents. A partir d'une résolution brute $\Delta x = \pm 2$ mm, et pour une dimension des fragments d'anode du même ordre de grandeur que cette résolution brute, on obtient après traitement une résolution de $\pm 0,1$ mm.

De plus, et c'est une caractéristique très importante du dispositif proposé, la résolution est indépendante de la fluctuation statistique due au rendement quantique de la photocathode, puisque la source de photoélectrons est commune pour tous les fragments d'anode adjacents. La résolution est donc pratiquement indépendante de l'intensité lumineuse de la source analysée.

Un autre type de surface sensible applicable au lieu de fragments d'anode est l'écran électroluminescent, analogue aux écrans des tubes cathodiques, qui permet l'examen visuel et/ou photographique. La surface réceptrice d'électrons peut encore être réalisée comme dans les tubes de prise de vues de télévision, et comprendre une mosaïque de petits éléments qui se chargent sous l'effet des électrons reçus, tandis qu'un faisceau d'électrons analyseur vient balayer cette surface pour lire la charge de chaque élément de la mosaïque. On obtient ainsi un signal séquentiel qui, lié au balayage, définit la répartition spatiale des électrons reçus. Du fait du balayage séquentiel, ce type de surface réceptrice ne permet pas de bénéficier pleinement de la

résolution temporelle du tube selon l'invention.

Le multiplicateur d'électrons selon l'invention est susceptible de nombreuses applications :
déttection directe d'électrons, de photons (multi-photo-
multiplicateur), amplificateur d'images à haut gain ;
le domaine d'application est vaste et comprend notamment
la détection de particules en physique nucléaire et physique des hautes énergies, la médecine, etc.

Plus précisément, un photomultiplicateur selon l'invention de diamètre 100 mm pourrait remplacer 50 à 100 petits photomultiplicateurs classiques à dynodes vénitiennes en offrant une excellente résolution spatiale ($\pm 1,5$ mm), un gain pratiquement aussi bon, plus homogène et plus linéaire, et une résolution temporelle supérieure.

Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits, et s'étend à toute variante conforme à son esprit. Par exemple, on peut utiliser des lamelles avec la géométrie de la figure 6, ou bien des barreaux cylindriques avec les géométries des figures 6 et 7. On peut encore imaginer des variantes simples de la section droite en triangle rectangle isocèle, par exemple en rendant leur hypoténuse curviligne et concave.

Il semble en revanche important de conserver une disposition où chaque étage de dynode est constitué de plusieurs niveaux, décalés entre eux de manière à constituer ensemble une structure pratiquement opaque pour les électrons incidents.

REVENDEICATIONS

1 - Tube multiplicateur d'électrons, comprenant le long d'un axe principal une surface émettrice d'électrons, plusieurs étages de dynodes à structure distribuée, capables d'émission secondaire électronique réflexe, et une surface réceptrice d'électrons, ainsi que des moyens produisant un champ électrique accélérateur d'électrons orienté généralement le long de l'axe principal, de la surface émettrice d'électrons à la surface réceptrice d'électrons, caractérisé par le fait qu'il lui est associé un moyen produisant un champ magnétique orienté généralement selon l'axe principal.

2 - Tube multiplicateur d'électrons selon la revendication 1, caractérisé par le fait que les dynodes comprennent des grilles de barreaux parallèles, chaque grille étant sensiblement perpendiculaire à l'axe principal.

3 - Tube multiplicateur d'électrons selon la revendication 2, caractérisé par le fait que la petite dimension des barreaux, dans le plan perpendiculaire à l'axe principal, est inférieure à 1 mm environ, et que l'écart entre deux barreaux adjacents est au moins égal à leur petite dimension.

4 - Tube multiplicateur d'électrons selon la revendication 3, caractérisé par le fait que le champ électrique est supérieur à 200 V/cm, et que le champ magnétique est supérieur à 50 Gauss.

5 - Tube multiplicateur d'électrons selon la revendication 4, caractérisé par le fait que la petite dimension des barreaux est 0,5 mm environ, et que le champ électrique et le champ magnétique sont choisis corrélativement l'un à l'autre entre 400 et 1 000 V/cm

environ, et 100 et 500 Gauss environ, respectivement.

5 6 - Tube multiplicateur d'électrons selon
l'une des revendications 2 à 5, caractérisé par le fait
que chaque dynode comprend deux grilles de barreaux
espacées le long de l'axe principal, que dans chaque
grille les barreaux sont espacés d'une distance égale
à leur petite dimension, que les deux grilles sont déca-
lées l'une par rapport à l'autre d'une distance égale
à leur petite dimension, et que les champs électrique
10 et magnétique sont corrélativement choisis pour qu'un
électron secondaire émis par un barreau de la première
grille passe statistiquement toujours entre les barreaux
de la seconde grille.

15 7 - Tube multiplicateur d'électrons selon
l'une des revendications 2 à 5, caractérisé par le fait
que chaque dynode comprend n grilles de barreaux espa-
cées le long de l'axe principal, que dans chaque grille
les barreaux sont espacés de n fois leur petite dimen-
sion, que les n grilles sont successivement décalées
20 dans le même sens d'une distance égale à leur petite
dimension, chacune par rapport à la précédente, et que
les champs électrique et magnétique sont corrélativement
choisis pour qu'un électron secondaire émis par un bar-
reau d'une grille sur une parallèle à l'axe principal
25 repasse statistiquement sur la même parallèle sensible-
ment aux niveaux de la grille suivante et de la n-ième
grille.

8 - Tube multiplicateur d'électrons selon la
revendication 7, caractérisé par le fait que $n = 5$.

30 9 - Tube multiplicateur d'électrons selon l'une
des revendications 2 à 8, caractérisé par le fait que les
barreaux ont une section droite symétrique par rapport à

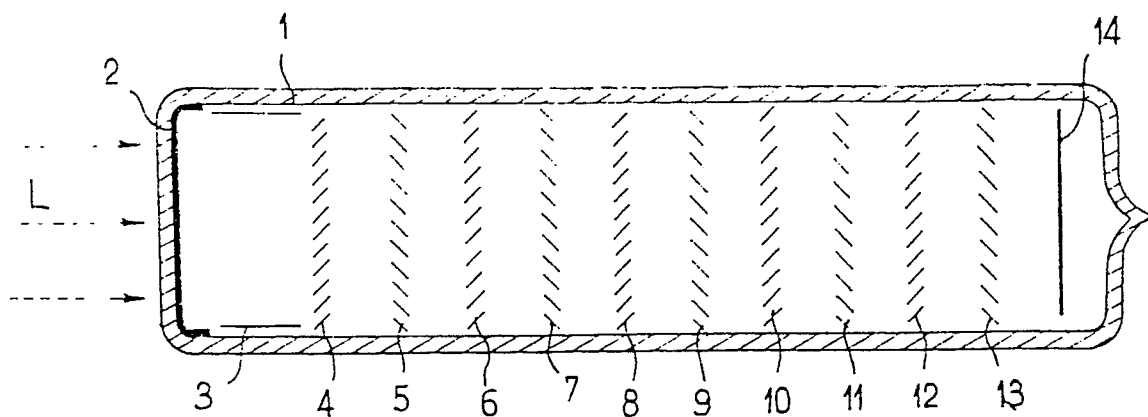
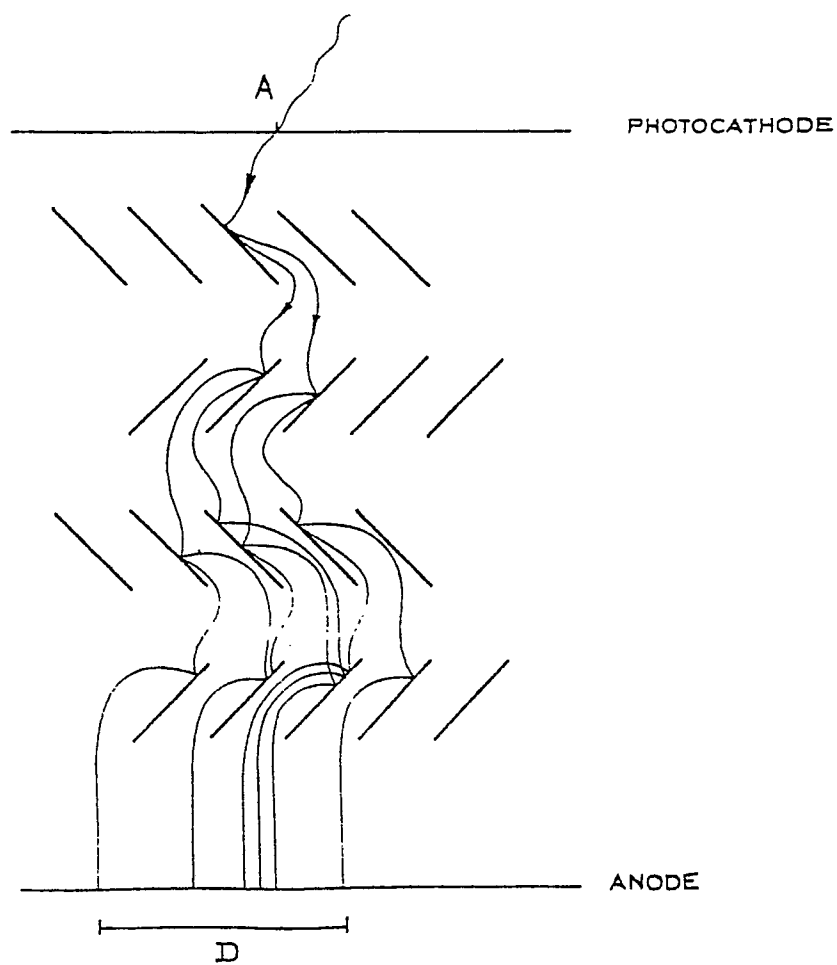
un plan passant par l'axe principal du tube et l'axe de leur plus grande dimension.

5 10 - Tube multiplicateur d'électrons selon l'une des revendications 2 à 9, caractérisé par le fait que la section droite des barreaux est du genre triangle rectangle isocèle d'hypoténuse dirigée vers l'aval des trajectoires électroniques du genre circulaire, ou du genre rectangle plat d'inclinaison prédéterminée sur l'axe principal, les barreaux étant alors des lamelles.

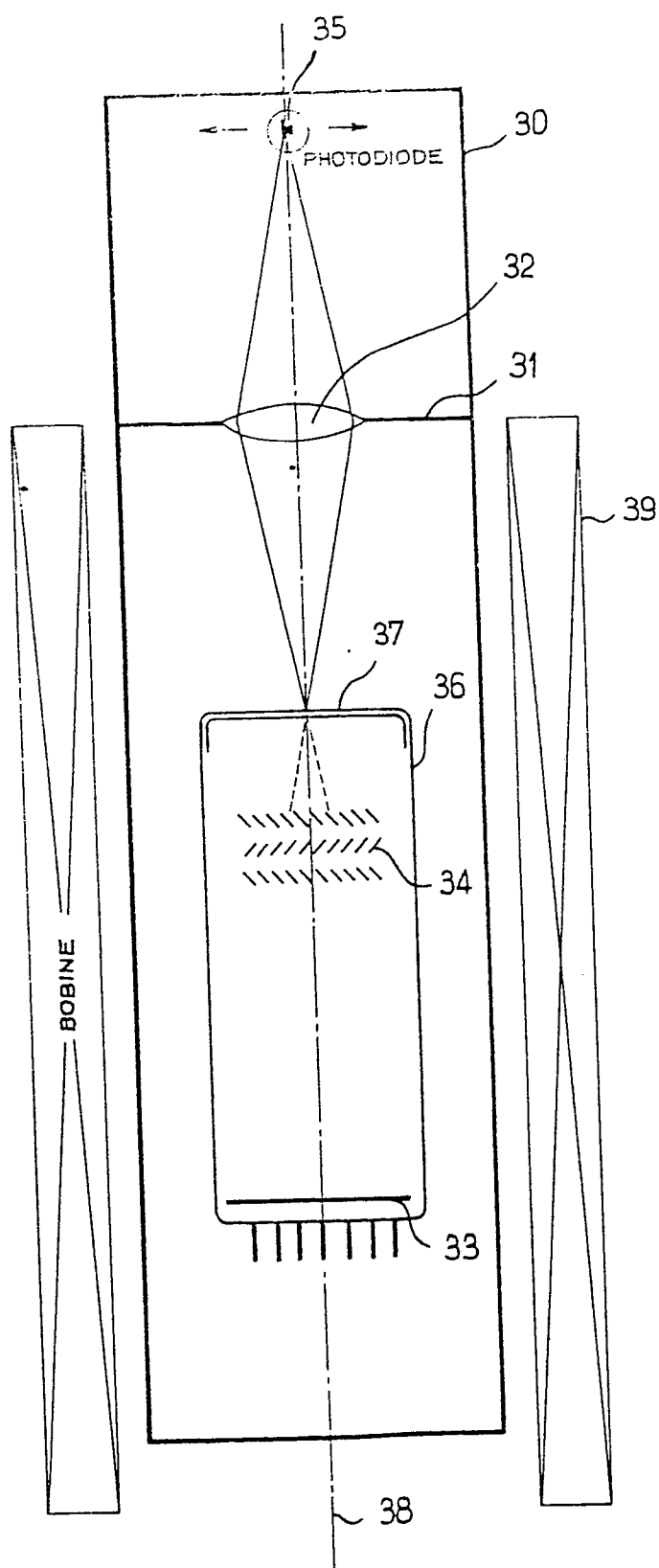
10 11 - Tube multiplicateur d'électrons selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé par le fait que la surface émettrice d'électrons comprend une électrode émissive d'électrons, cathode ou photocathode, ou une surface transparente à des électrons d'origine
15 externe.

 12 - Tube multiplicateur d'électrons selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé par le fait que la surface réceptrice d'électrons comprend une anode divisée à connexions multiples, une surface électrolu-
20 minescente ou une surface mosaïque analysable par faisceau d'électrons.

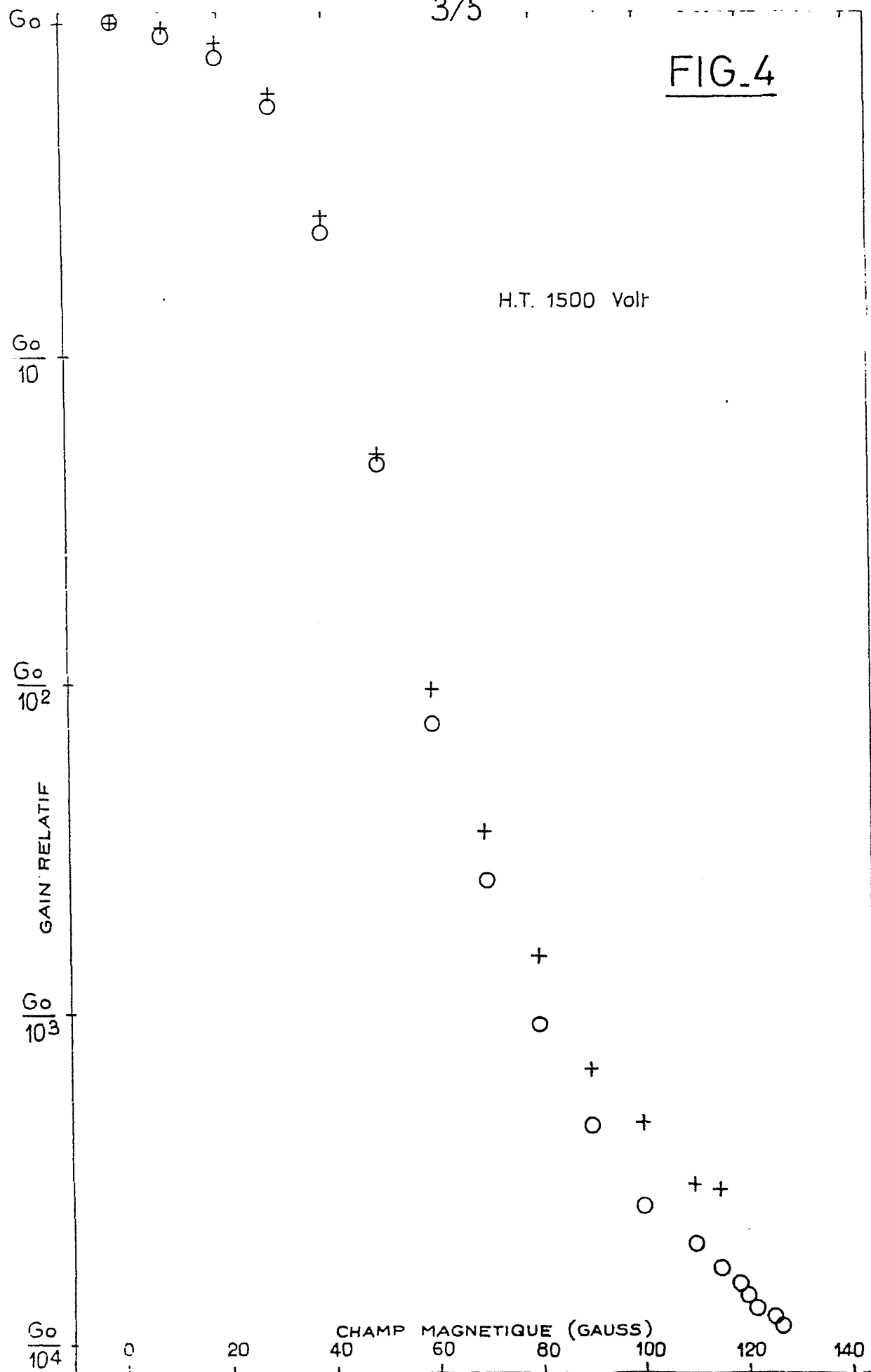
1/5

FIG. 1FIG. 2

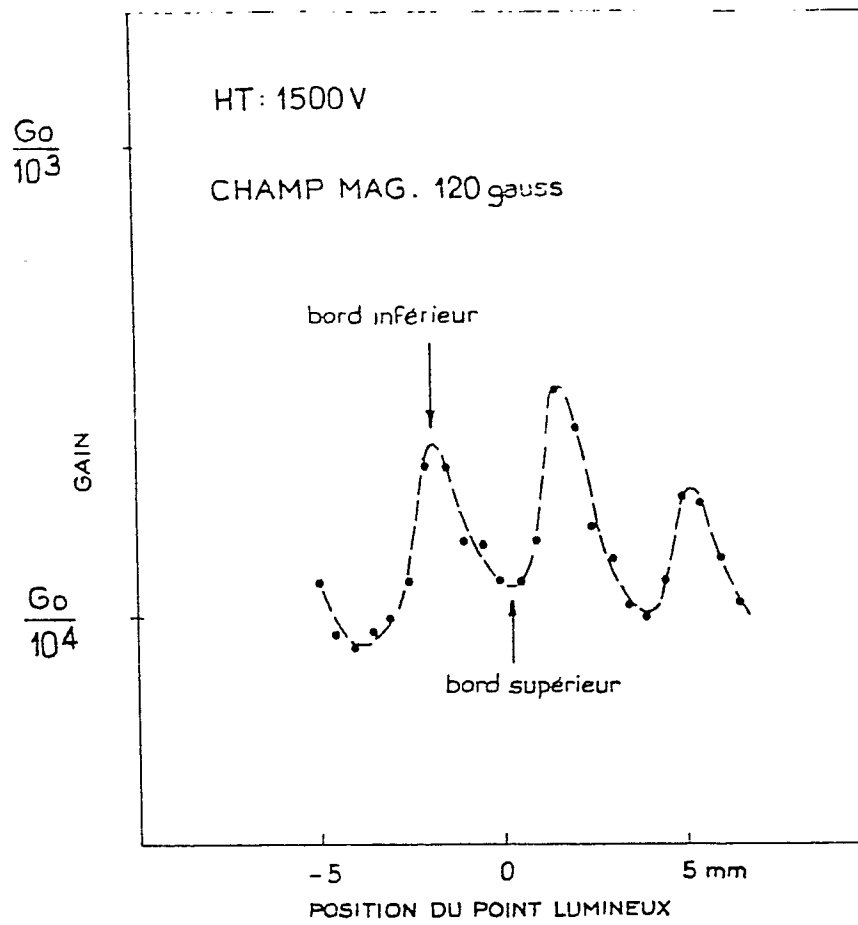
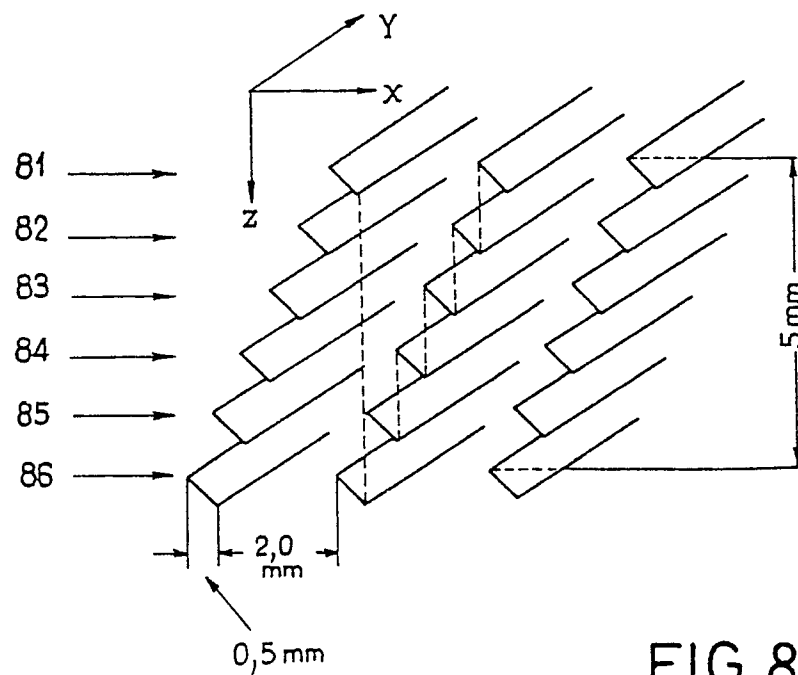
2/5

FIG. 3

3/5

FIG. 4

4/5

FIG.5FIG.8

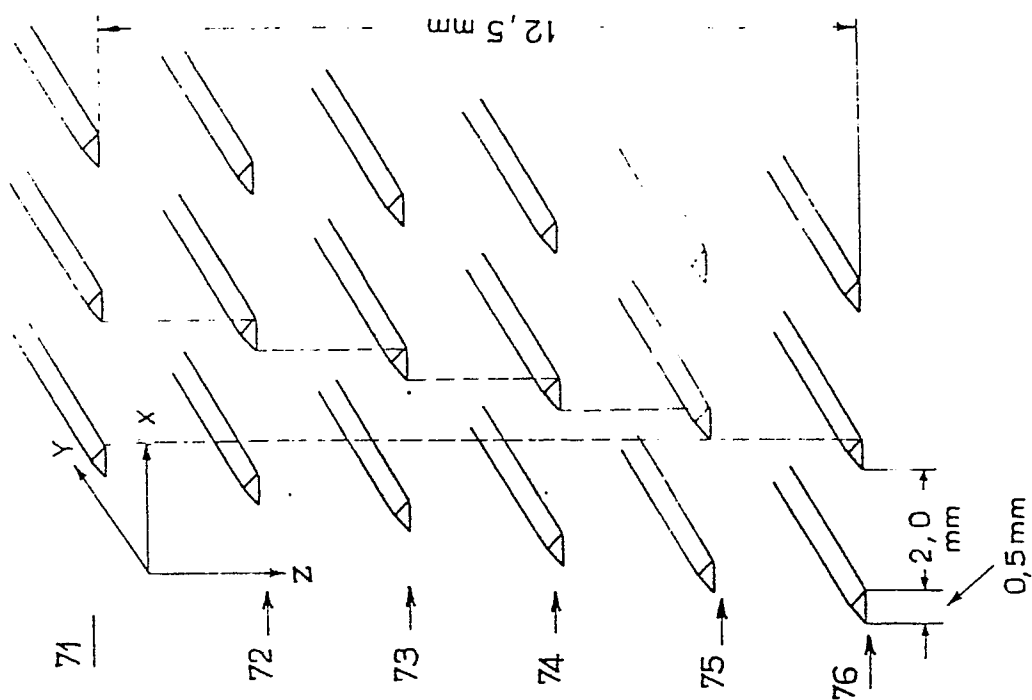


FIG. 7

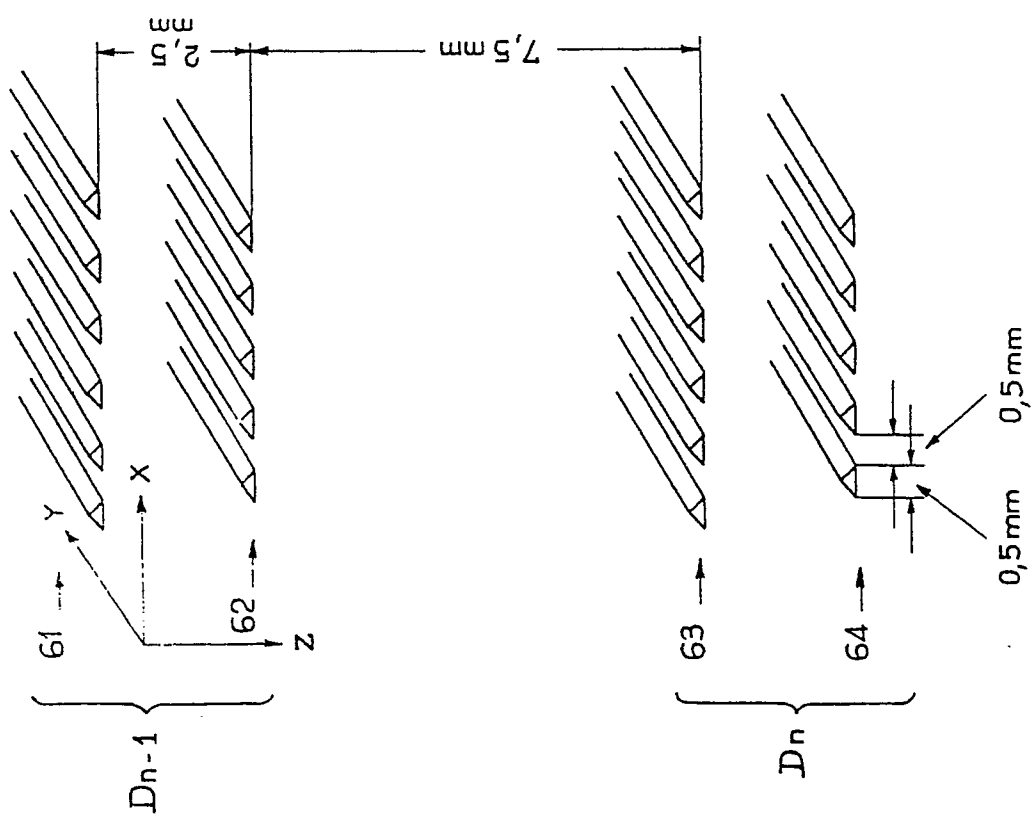


FIG. 6



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

001323^F

Numero de la demande

EP 79 40 1057

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
X	FR - A - 800 440 (G. WEISS) * Figures 2,9; page 1, ligne 55 à page 2, ligne 39; page 2, ligne 88 à page 3, ligne 3 *	1,7,11	H 01 J 43/14 43/22
	--		
X	US - A - 2 305 179 (H.G. LUBSZYNSKI) * Figure; page 1, colonne de gauche, ligne 29 à colonne de droite, ligne 49 *	1,7,11	
	--		
	FR - E - 824 648/49 655 (ELECTRICAL RESEARCH PRODUCTS IND.) * Figure 6; page 5, ligne 10 à page 6, ligne 51 *	1,11	H 01 J 43/14 43/22 43/18 43/10 43/06
	--		
A	US - A - 2 172 738 (N. LEVIN) * Figure; page 1, colonne de gauche, ligne 40 à colonne de droite, ligne 29 *	1,11	
	--		
A	US - A - 2 115 155 (G.B. BANKS) * Figure 1; page 1, colonne de gauche, ligne 30 à colonne de droite, ligne 46 * & FR - A - 827 731 (MARCONI'S WIRELESS TELEGRAPH CY. LTD.) * Figure 1; page 1, ligne 37 à page 2, ligne 78 *	1,11	
	--		
	./.		
☒ Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.) CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X: particulièrement pertinent A: arrière-plan technologique O: divulgation non-écrite P: document intercalaire T: théorie ou principe à la base de l'invention E: demande faisant interférence D: document cité dans la demande L: document cité pour d'autres raisons & membre de la même famille, document correspondant
Lieu de la recherche La Haye	Date d'achèvement de la recherche 05-02-1980	Examineur VAN HENDEN	



001323^F
Numéro de la demande

EP 79 40 1057
-2-

OEB Form 1503.2 06.78