

12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: **88202638.8**

51 Int. Cl.4: **H01J 29/38**

22 Date de dépôt: **23.11.88**

Une requête en addition Fig 1B a été présentée conformément à la règle 88 CBE. Il est statué sur cette requête au cours de la procédure engagée devant la division d'examen (Directives relatives à l'examen pratiqué à l'OEB, A-V, 2.2).

30 Priorité: **24.11.87 FR 8716252**

43 Date de publication de la demande:
07.06.89 Bulletin 89/23

84 Etats contractants désignés:
DE FR GB NL

71 Demandeur: **Laboratoires d'Electronique et de Physique Appliquée L.E.P.**
3, Avenue Descartes
F-94450 Limeil-Brévannes(FR)

84 **FR**

Demandeur: **N.V. Philips'**
Gloeilampenfabrieken
Groenewoudseweg 1
NL-5621 BA Eindhoven(NL)

84 **DE GB NL**

72 Inventeur: **Dolizy, Pierre Marie-André**
Société Civile S.P.I.D.
209, rue de l'Université F-75007 Paris(FR)

74 Mandataire: **Landousy, Christian et al**
Société Civile S.P.I.D. 209, Rue de
l'Université
F-75007 Paris(FR)

54 **Tube intensificateur d'images à rayons X.**

57 Tube intensificateur d'images à rayons X comprenant un substrat d'aluminium qui supporte un scintillateur qui transforme un rayonnement X en un rayonnement lumineux visible ou proche du visible, ce dernier étant converti par une photocathode en un flux d'électrons qui, à l'aide de moyens d'optique électronique, fournit une image visible sur un écran de sortie. Selon l'invention on interpose entre le substrat d'aluminium (10) et le scintillateur (12) une couche (11) absorbant le rayonnement lumineux émis par le scintillateur en direction du substrat d'aluminium, la couche absorbante étant constituée d'un matériau choisi parmi les matériaux suivants : nitrure de titane, sulfure de cadmium, (Cu,PbI₂). Une couche (19) à bas indice optique peut être interposée entre le scintillateur (12) et la photocathode (13). Une barrière chimique peut également être disposée entre le scintillateur et la photocathode. On peut placer une couche conductrice électriquement et

transparente optiquement entre la photocathode et la barrière chimique.

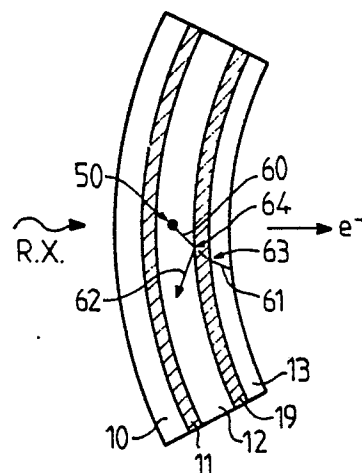


FIG. 4

TUBE INTENSIFICATEUR D'IMAGES A RAYONS X

L'invention concerne un tube intensificateur d'images à rayons X comprenant une fenêtre d'entrée munie d'un substrat d'aluminium qui supporte un scintillateur qui transforme, en un rayonnement lumineux visible ou proche du visible, le rayonnement X qui atteint le scintillateur à travers le substrat, le rayonnement lumineux étant converti par une photocathode en un flux d'électrons qui, à l'aide de moyens d'optique électronique, fournit une image visible sur un écran de sortie.

Une invention de ce genre est décrite dans le document FR 2 515 423. Il décrit un écran d'entrée adapté pour être utilisé dans un tube amplificateur de brillance avec un pouvoir de résolution accru. Pour cela les cristaux colonnaires d'iodure de césium qui constituent le scintillateur sont issus de particules d'impuretés de surface du substrat d'aluminium. Un effet secondaire de ces impuretés de surface est de favoriser l'absorption de la lumière émise en direction du substrat. L'action de guidage de la lumière obtenue par les cristaux colonnaires étant imparfaite, ce mécanisme d'absorption de la lumière par les particules d'impuretés améliore le contraste de l'image restituée. Ces particules d'impuretés doivent constituer des germes pour la croissance des cristaux colonnaires. Elles forment donc des îlots disséminés en surface du substrat d'aluminium rendus apparents par un traitement chimique approprié. La lumière émise par le scintillateur en direction du substrat n'est donc qu'accessoirement absorbée par ces particules d'impuretés dont la présence et la nature sont aléatoires.

Le problème posé est donc de disposer d'un tube muni d'une fenêtre d'entrée ayant une haute résolution pour la totalité de la surface de l'image restituée. Les performances du tube doivent être reproductibles et fiables.

La solution à ce problème technique est qu'entre le substrat d'aluminium et le scintillateur est interposée une couche absorbant le rayonnement lumineux émis par le scintillateur en direction du substrat d'aluminium, la couche absorbante étant constituée d'un matériau choisi parmi les matériaux suivants : nitrure de titane, sulfure de cadmium, (Cu,PbI₂).

Mais compte tenu de l'indice de réfraction élevé du matériau de photocathode un autre mécanisme contribue à affaiblir la résolution. Il est dû aux rayons lumineux issus du scintillateur qui sont très écartés de la normale à la surface de la photocathode et qui peuvent pénétrer dans celle-ci. Pour éliminer ces rayons lumineux très écartés de la normale, l'invention place entre le scintillateur et la photocathode, une couche à bas indice ayant un

indice de réfraction inférieur à celui de la photocathode. Le matériau de cette couche peut être choisi parmi les matériaux suivants : MgF₂, cryolithe (Na₃AlF₆).

Le scintillateur est choisi parmi les matériaux suivants : CsI(Na), NaI(Tl), CsI(Tl), CdWO₄, Bi₄Ge₃O₁₂, CaWO₄.

Le rayonnement qui est dirigé vers le substrat étant absorbé, il peut en résulter une baisse de luminosité du tube avec une photocathode habituelle en Cs₃Sb.

Un problème secondaire est de disposer d'une luminosité élevée tout en conservant la résolution du tube.

La solution à ce problème secondaire est de choisir la photocathode parmi les matériaux suivants : K₂CsSb, Rb₂CsSb, (SbNa₂K,Cs), ce dernier matériau pouvant être de type S20 ou S25 selon sa réponse spectrale. Ces appellations sont connues de l'homme du métier. Tous ces matériaux confèrent au tube une grande durée de vie.

On obtient ainsi un tube disposant d'une résolution accrue et d'une grande luminosité.

Pour donner au tube toutes ses qualités de durée de vie, il est souhaitable de disposer, entre le scintillateur et la photocathode, une barrière chimique constituée d'une couche choisie parmi les matériaux suivants : Al₂O₃, Si₃N₄, SiO₂. Cette barrière chimique évite au sodium contenu dans le scintillateur de migrer vers la photocathode.

Il est également possible d'améliorer la collection des charges en disposant une couche conductrice électriquement et transparente optiquement entre la photocathode et la barrière chimique. Cette couche est choisie parmi les matériaux suivants : palladium, aluminium, In₂O₃, SnO₂, ITO (mélange de In₂O₃ à 90% et de SnO₂ à 10%).

L'invention sera mieux comprise à l'aide des figures suivantes, données à titre d'exemples non limitatifs, qui représentent :

figure 1A : un tube intensificateur d'images à rayons X selon l'invention.

figure 1B : un schéma d'une fenêtre d'entrée d'un tube d'intensificateur d'images à rayons X selon l'invention.

figure 2 : une courbe de variations du taux de réflexion d'une couche de TiN déposée sur un substrat d'aluminium en fonction de l'épaisseur de la couche de TiN.

figure 3 : une courbe analogue à celle de la figure 2 pour une couche de CdS.

figure 4 : un schéma analogue à celui de la figure 1 avec en supplément une couche à bas indice entre le scintillateur et la photocathode.

figure 5 : un schéma analogue à celui de la figure 1 avec en plus une barrière chimique et une couche conductrice et transparente placée entre le scintillateur et la photocathode.

figure 6 : trois courbes de variations du rendement photoélectrique pour différentes structures de fenêtre d'entrée en unités arbitraires.

Les schémas des figures 1, 4 et 5 ne sont pas représentés à l'échelle afin de mieux mettre en évidence les mécanismes mis en jeu.

La figure 1A représente un tube intensificateur d'images à rayons X qui comprend en entrée une feuille de séparation 23 avec le vide formée d'un matériau adapté, par exemple le titane. La feuille de séparation est suivie d'une fenêtre d'entrée 21. L'ensemble est monté dans une enveloppe sous vide qui comprend en outre, une surface cylindrique 43 avec une partie conique 45, un support d'anode terminale 49 et une fenêtre de sortie 20. Le tube est muni à son entrée d'un anneau de montage 22 auquel sont connectés la feuille de séparation 23 ainsi qu'un support 24 pour l'écran d'entrée 21. A travers une électrode d'entrée 26 et des électrodes 28, 40, 42 les faisceaux de photoélectrons 52 issus d'une photocathode 13 forment une image sur une couche luminescente 46 qui est préférentiellement déposée sur un écran de sortie 20 formé d'une plaque de fibres optiques. L'image électronique projetée sur l'écran de sortie génère une image optique dans la couche de matériau luminescent. Cette image optique est ensuite utilisée de manière habituelle pour être visualisée.

Sur la figure 1B, la fenêtre d'entrée 21 comprend dans l'ordre un substrat d'aluminium 10, une couche absorbante 11, un scintillateur 12 et une photocathode 13. Les rayons X incidents arrivent sur la structure à travers le substrat 10 et des électrons e^- sont émis par la photocathode 13. Lorsque les rayons X sont absorbés en un point 50 du scintillateur, un rayonnement visible est émis. Par exemple le rayon 51 pénètre la photocathode 13 qui émet des électrons 52. Mais le même point 50 peut émettre des rayons tel que le rayon 53 en direction du substrat 10. En l'absence de la couche absorbante 11, le rayon 53 se réfléchit selon le rayon 54 et des électrons 55 sont émis par la photocathode. Ainsi un même point 50 produit plusieurs émissions d'électrons 52, 55 et il en résulte un défaut de résolution du tube.

Selon l'invention les rayons 53 qui sont émis en direction du substrat sont absorbés. Mais l'absorption doit se produire d'une manière continue et homogène sur toute la surface de la fenêtre d'entrée afin de restituer une image de qualité homogène. L'absorption doit être la plus élevée possible pour la longueur d'onde de la lumière émise par le scintillateur. Les scintillateurs peuvent être choisis

parmi les matériaux suivants : CsI(Na), NaI(Tl), CsI(Tl), CdWO_4 , $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, CaWO_4 . Par exemple pour un scintillateur en CsI(Na), la longueur d'onde de la lumière émise est voisine de 430 nm. La couche absorbante doit permettre d'absorber ce rayonnement. Selon l'invention le matériau peut être choisi parmi les matériaux suivants : TiN, CdS, $(\text{Cu}, \text{PbI}_2)$. Les indices optiques $n^* = n - ik$, avec n l'indice de réfraction et k l'indice d'extinction, sont respectivement pour TiN, $n=1,65$ et $k=0,79$ et pour CdS, $n=2,5$ et $k=0,2$. Ils sont donnés à titre d'exemple pour une longueur d'onde de 430 nm et varient peu avec la longueur d'onde.

La figure 2 représente le taux de réflexion d'une couche de TiN déposée sur un substrat d'aluminium pour une lumière émise à 430 nm par un scintillateur en CsI(Na). Ce taux est représenté en fonction de l'épaisseur de la couche absorbante. On constate que le taux de réflexion devient inférieur à 10% dès que la couche de TiN atteint une épaisseur d'environ 50 nm.

Une situation semblable apparaît pour d'autres matériaux tels que CdS ou $(\text{Cu}, \text{PbI}_2)$. La figure 3 représente le taux de réflexion d'une couche de CdS déposée sur un substrat d'aluminium pour une longueur d'onde de 430 nm en fonction de l'épaisseur de la couche. Pour le sulfure de cadmium on a $n=2,5$ et $k=0,2$. Il apparaît donc des oscillations sur la courbe de la figure 3. Il est donc possible de déterminer des épaisseurs de couches de CdS pour lesquelles le taux de réflexion est suffisamment peu important. Ainsi si l'on choisit un taux inférieur à 10% les épaisseurs de CdS peuvent être choisies dans sensiblement les gammes suivantes : 115 nm à 135 nm, 185 nm à 235 nm, supérieur à 260 nm pour une émission lumineuse à 430 nm.

Chaque scintillateur aura un spectre de lumière centré sur une longueur d'onde centrale qui lui est propre. Ces spectres de lumière sont répartis entre sensiblement 400 nm et sensiblement 600 nm. Les épaisseurs de couches de CdS sont donc à déterminer à la fois selon une valeur prédéterminée admissible pour le taux de réflexion et selon la longueur d'onde centrale d'émission du scintillateur utilisé. L'homme du métier par des mesures préliminaires de taux de réflexion en fonction de l'épaisseur pour la longueur d'onde et le matériau choisis peut ainsi aisément choisir l'épaisseur selon le taux de réflexion toléré.

La figure 4 représente un mode de réalisation de l'invention qui comprend un supplément une couche 19 à bas indice de réfraction placée entre le scintillateur 12 et la photocathode 13. En effet, si l'on considère un rayon lumineux 60 issu du point 50, en l'absence de la couche 19 il arriverait au point 63 et pénétrerait dans la photocathode 13 selon un rayon lumineux 61 où il produirait des

électrons. Mais le point 63 peut être assez éloigné de la direction radiale issue du point 50 perpendiculaire à la surface courbe de la photocathode, direction qui est sensiblement la direction axiale des cristaux colonnaires. Les électrons qui sont issus du rayon 61 vont donc contribuer à diminuer la résolution de l'image du tube. Cette deuxième cause d'une diminution de la résolution est corrigée à l'aide d'une couche 19 à bas indice ayant un indice de réfraction inférieur à celui du scintillateur 12, placée entre le scintillateur 12 et la photocathode 13. Ainsi le rayon 60 frappe la surface de cette couche au point 64 et subit une réflexion totale selon le rayon 62. Les rayons lumineux éloignés sensiblement de la direction axiale des cristaux colonnaires sont renvoyés et ne participent pas à la création d'électrons. Cette couche 19 doit avoir une absorption faible pour ne pas perturber la luminosité. Le matériau de cette couche peut être choisi parmi les matériaux suivants : MgF_2 , cryolithe (Na_3AlF_6). Dans la gamme de longueurs d'ondes utile qui se situe entre environ 400 nm et 600 nm, l'indice de réfraction de MgF_2 est compris entre 1,33 et 1,37 environ avec un indice d'extinction pratiquement nul. Les valeurs sont sensiblement analogues pour la cryolithe.

Cette absorption et cette réflexion de lumière qui se traduisent par un accroissement de résolution du tube, sont accompagnées d'une baisse de luminosité du tube. Il peut être souhaitable d'accroître cette luminosité. Pour cela il est possible d'utiliser d'autres matériaux de photocathode tels que : K_2CsSb , Rb_2CsSb , (SbNa_2K , Cs). Ils présentent un meilleur rendement photoélectrique que le matériau Cs_3Sb habituel.

En normalisant à 1 le rendement photoélectrique de la structure formée d'une photocathode Cs_3Sb associée à un scintillateur (CsI, Na), on obtient un rendement de 1,60 avec une photocathode (SbNa_2K , Cs) et un rendement de 2,32 avec une photocathode K_2CsSb . Les photocathodes formées des matériaux K_2CsSb , Rb_2CsSb , ou (SbNa_2K , Cs) sont donc bien adaptées pour accroître les performances en luminosité qui sont altérées par les couches absorbantes de TiN. D'autre part elles permettent de donner à la structure une grande durée de vie.

Mais pour donner à une telle structure toutes ses qualités potentielles de grande durée de vie, il est souhaitable d'interposer une barrière chimique entre le scintillateur et la photocathode afin d'éviter que l'élément Na migre vers la photocathode lors de la fabrication du tube. Cette barrière chimique est constituée d'une couche choisie parmi les matériaux suivants : Al_2O_3 , Si_3N_4 , SiO_2 .

Le matériau de la photocathode étant généralement peu conducteur, il est possible d'assurer une répartition homogène du potentiel électrique en

disposant une couche conductrice sur la photocathode du côté du scintillateur. Cette couche conductrice doit également être transparente pour laisser passer le rayonnement émis par le scintillateur. Si une barrière chimique existe, la couche conductrice et transparente est disposée entre la photocathode et la barrière chimique. Les matériaux suivants peuvent être utilisés : palladium, aluminium, In_2O_3 , SnO_2 ou le matériau ITO qui un mélange de In_2O_3 (90%) et SnO_2 (10%).

On obtient alors une fenêtre d'entrée représentée sur la figure 5. On y retrouve, comme sur la figure 1, le substrat d'aluminium 10, la couche absorbante 11, le scintillateur 12 et la photocathode 13 qui est préférentiellement constituée d'un matériau à rendement photoélectrique élevé. En supplément, en contact avec la photocathode, est disposée la couche conductrice et transparente 18, précédée de la barrière chimique 17. La couche à bas indice 19 représentée sur la figure 4 peut être associée à la couche conductrice et transparente 18 et à la barrière chimique 17 représentées sur la figure 5. Ainsi on peut disposer la couche à bas indice 19 entre le scintillateur 12 et la barrière chimique 17. On peut aussi la disposer entre la barrière chimique 17 et la couche conductrice et transparente 18.

La fenêtre d'entrée réalisée avec une couche absorbante, par exemple en TiN, et une photocathode à rendement photoélectrique élevé, par exemple en K_2CsSb , va pouvoir présenter globalement un rendement photoélectrique supérieur à une fenêtre d'entrée réalisée sans ces matériaux. Ceci est mis en évidence sur la figure 6 qui représente les variations du rendement photoélectrique Y d'une photocathode en fonction de l'épaisseur du scintillateur. L'épaisseur de la photocathode est telle que le rendement photoélectrique est au maximum. La courbe 31 concerne la structure $\text{Al/TiN/CsI,Na/Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{CsSb}$. Son taux de réflexion de lumière émise par le scintillateur et réfléchi par le substrat est inférieur à 10%. La courbe 32 concerne la structure $\text{Al/CsI,Na/Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{CsSb}$. Son taux de réflexion est de 70% environ. La courbe 31 est en dessous de la courbe 32 car en effet, la lumière absorbée est perdue et ne peut générer d'électrons. La courbe 33 concerne la structure $\text{Al/CsI,Na/Cs}_3\text{Sb}$. La courbe 31 est située au-dessus de la courbe 33. Ceci signifie qu'une fenêtre d'entrée avec une couche absorbante et une photocathode à rendement photoélectrique élevée peut présenter des performances accrues par rapport à une structure habituelle. De même on constate qu'une fenêtre d'entrée correspondant à la courbe 31 peut présenter des performances égales à celles obtenues avec une fenêtre d'entrée correspondant à la courbe 33, et ceci avec une épaisseur de scintillateur bien plus faible. Sur la figure 6 on

constate que cette épaisseur peut être réduite de 0,4 à 0,2 mm environ. Cette réduction de l'épaisseur du scintillateur contribue aussi à l'amélioration de la résolution du tube. Les cristaux qui constituent le scintillateur présentent généralement sur une certaine épaisseur (une dizaine de micromètres) des dislocations qui provoquent une diffusion de la lumière. La réduction d'épaisseur proposée conserve une épaisseur de scintillateur suffisante pour que cette zone disloquée ne perturbe que faiblement les mécanismes. Mais cette réduction d'épaisseur est très intéressante car ces tubes de détection de rayons X nécessitent de faire croître des cristaux sur des surfaces de fenêtre d'entrée de plusieurs décimètres carrés. Une telle diminution d'épaisseur entraîne une économie importante de matériau et un rendement de fabrication accru.

Revendications

1. Tube intensificateur d'images à rayons X comprenant une fenêtre d'entrée munie d'un substrat d'aluminium qui supporte un scintillateur qui transforme, en un rayonnement lumineux visible ou proche du visible, le rayonnement X qui atteint le scintillateur à travers le substrat, le rayonnement lumineux étant converti par une photocathode en un flux d'électrons qui, à l'aide de moyens d'optique électronique, fournit une image visible sur un écran de sortie, caractérisé en ce qu'entre le substrat d'aluminium et le scintillateur est interposée une couche absorbant le rayonnement lumineux émis par le scintillateur en direction du substrat d'aluminium, la couche absorbante étant constituée d'un matériau choisi parmi les matériaux suivants : nitrure de titane, sulfure de cadmium, (Cu,PbI₂).

2. Tube selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une couche à bas indice ayant un indice de réfraction inférieur à celui de la photocathode est placée entre le scintillateur et la photocathode.

3. Tube selon la revendication 2, caractérisé en ce que le matériau de la couche à bas indice est choisi parmi les matériaux suivants : MgF₂, cryolithe (Na₃AlF₆).

4. Tube selon une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la couche de nitrure de titane présente une épaisseur d'au moins 50 nm.

5. Tube selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'épaisseur est comprise entre 75 nm et 120 nm.

6. Tube selon une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la couche de sulfure de cadmium présente une épaisseur située dans une des gammes suivantes : entre environ 115 nm et 135 nm, entre environ 185 nm et 235 nm, supérieure à environ 260 nm.

7. Tube selon une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la photocathode est choisie parmi les matériaux suivants : K₂CsSb, Rb₂CsSb, SbCs₃, (SbNa₂K, Cs).

8. Tube selon une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le scintillateur est choisi parmi les matériaux suivants : CsI(Na), NaI(Tl), CsI(Tl), CdWO₄, Bi₄Ge₃O₁₂, CaWO₄.

9. Tube selon la revendication 8, caractérisé en ce que le scintillateur en CsI(Na) présente une épaisseur comprise entre 100 et 1000 micromètres environ.

10. Tube selon les revendications 7 et 9, caractérisé en ce qu'une barrière chimique est disposée entre le scintillateur et la photocathode, la barrière chimique étant choisie parmi les matériaux suivants : Al₂O₃, Si₃N₄, SiO₂.

11. Tube selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'une couche conductrice électriquement et transparente optiquement est déposée entre la photocathode et la barrière chimique, cette couche étant choisie parmi les matériaux suivants : palladium, aluminium, In₂O₃, SnO₂, mélange de In₂O₃ - (90%) et de SnO₂ (10%).

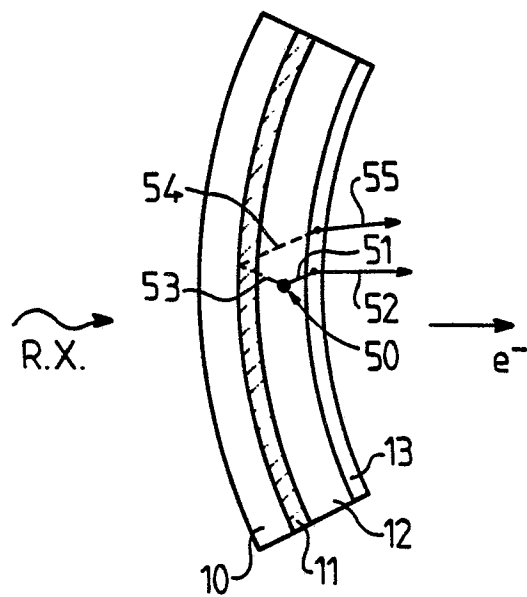


FIG. 1

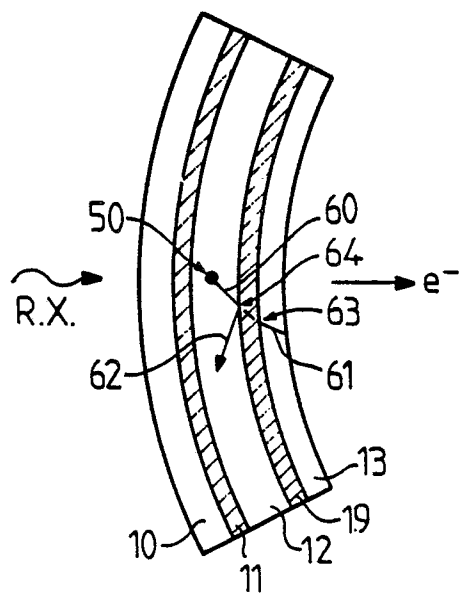
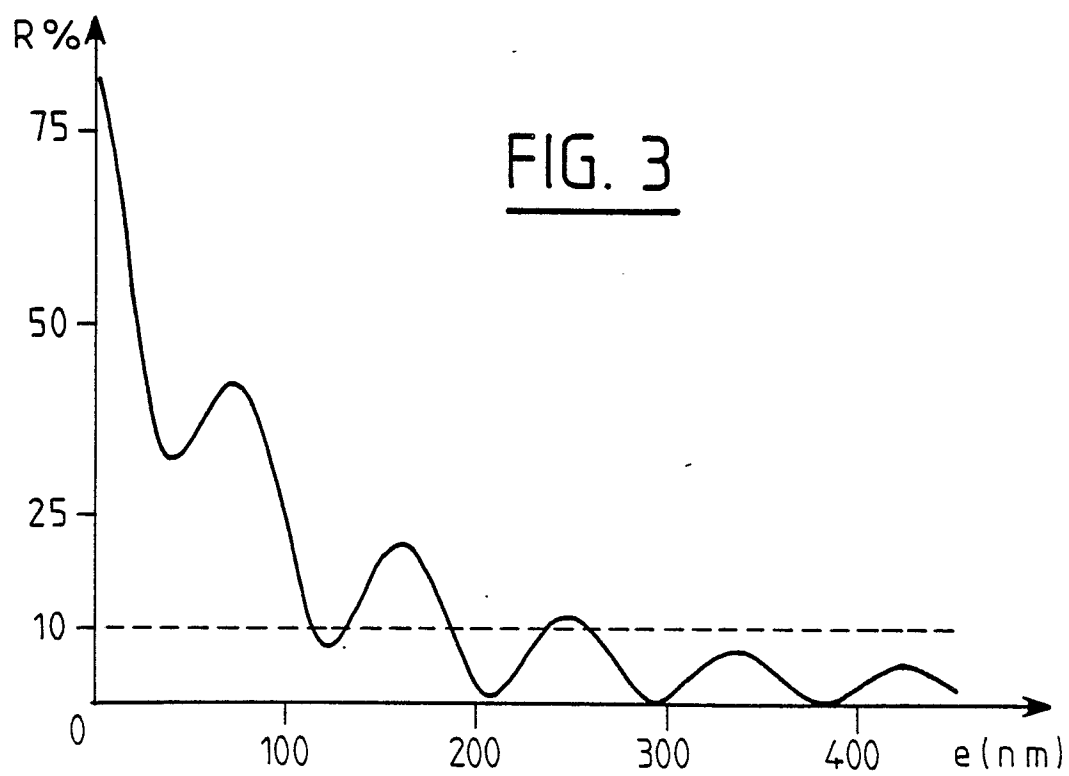
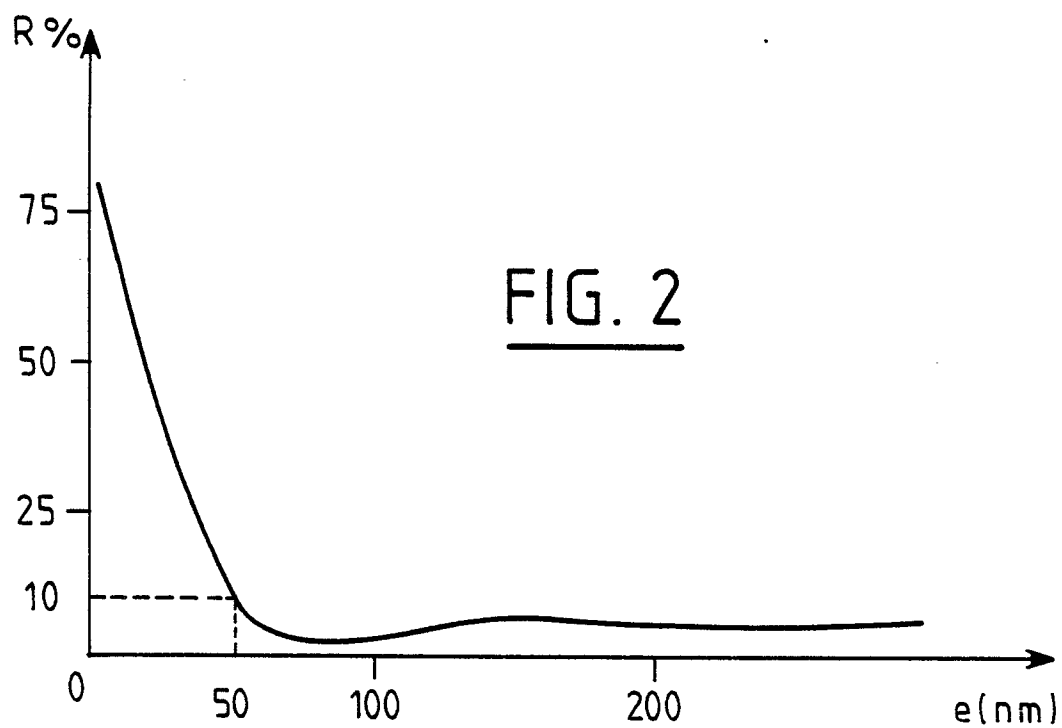
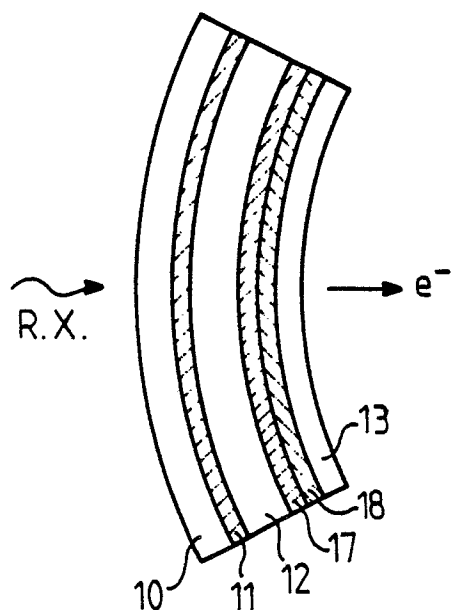
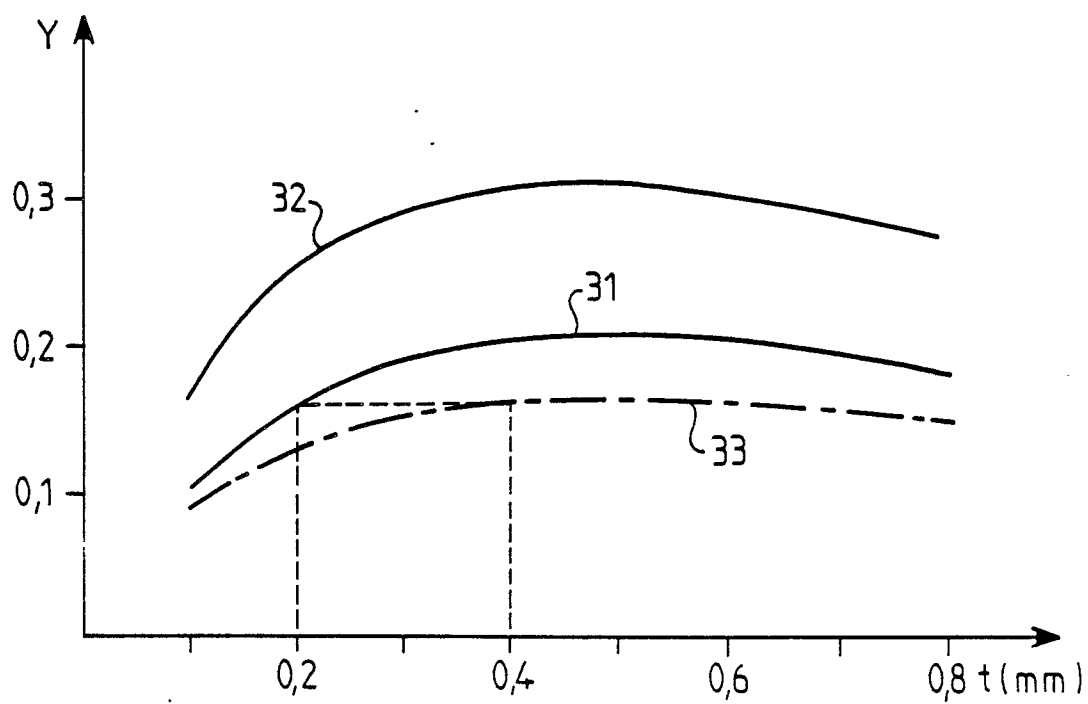


FIG. 4



FIG. 5FIG. 6



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	EP-A-0 240 951 (TOSHIBA) * Colonne 5, lignes 5-9,28-49; colonne 8, lignes 15-19; figure 2 * ---	1,11	H 01 J 29/38
A	FR-A-2 217 799 (SIEMENS) * Page 2, ligne 12 - page 3, ligne 21; page 7, en entier; figure 2 * ---	1,10	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 6, no. 52 (E-100)[930], 7 avril 1982, page 58 E 100; & JP-A-56 165 251 (TOKYO SHIBAURA DENKI K.K.) 18-12-1982 ---	1	
A	FR-A-2 386 130 (HITACHI) * Page 6, lignes 12-16 * ---	2,3	
A	US-A-3 706 885 (K.G. FISTER et al.) * Colonne 2, lignes 51-55 * ---	2,3	
A	FR-A-1 557 119 (VARIAN) * Page 3, colonne de gauche, paragraphe 2 * ---	7	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
A	GB-A-2 045 795 (HITACHI) * Page 1, lignes 13-15 * ---	8	H 01 J G 21 K
A	US-A-4 195 230 (S. ATAKA et al.) * Colonne 2, lignes 14-18 * -----	10	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 02-03-1989	Examineur ANTHONY R.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			