

⑫

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑳ Numéro de dépôt: **89401762.3**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>: **H 01 J 35/06**  
**H 01 J 35/14**

㉔ Date de dépôt: **22.06.89**

③⑦ Priorité: **01.07.88 FR 8808961**

④③ Date de publication de la demande:  
**03.01.90 Bulletin 90/01**

⑧④ Etats contractants désignés: **DE ES GB IT NL**

⑦① Demandeur: **GENERAL ELECTRIC CGR S.A.**  
**100, rue Camille-Desmoulins**  
**F-92130 Issy les Moulineaux (FR)**

⑦② Inventeur: **Fournier, Guillaume**  
**Cabinet Ballot-Schmit 7, rue Le Sueur**  
**F-75116 Paris (FR)**

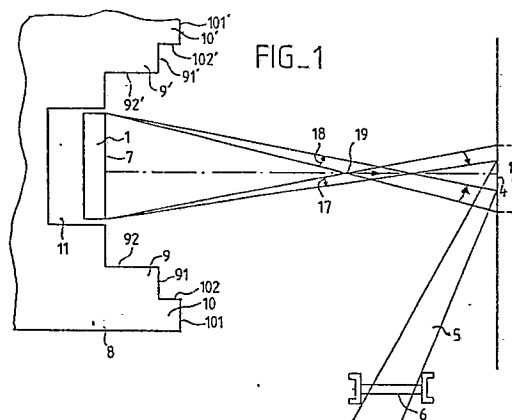
**Caire, François**  
**Cabinet Ballot-Schmit 7, rue Le Sueur**  
**F-75116 Paris (FR)**

**Lemestreallan, Gilles**  
**Cabinet Ballot-Schmit 7, rue Le Sueur**  
**F-75116 Paris (FR)**

⑦④ Mandataire: **Ballot, Paul Denis Jacques**  
**Cabinet Ballot 7, rue le Sueur**  
**F-75116 Paris (FR)**

⑤④ **Tube radiogène à auto-limitation du flux électronique par saturation.**

⑤⑦ On résout les problèmes de tenue en température d'une anode en réalisant une cathode plane (1) inscrite dans un dispositif (8) de focalisation à marche. On montre qu'en fonction de la forme de ce dispositif le débit thermique sur l'anode est limité par une valeur de saturation inférieure à une limite de tenue thermique de ce tube. Pour améliorer la tenue thermique de la cathode on réalise une cathode en forme de poutre creuse. Ceci lui assure une rigidité inhérente à sa forme en poutre sans lui conférer par ailleurs les inconvénients d'une trop grande inertie thermique.



## Description

## TUBE RADIOGENE A AUTO-LIMITATION DU FLUX ELECTRONIQUE PAR SATURATION

La présente invention a pour objet un tube à rayons X à auto-limitation du flux électronique par saturation, utilisable notamment dans le domaine médical. Les principales caractéristiques de ces tubes sont leur résistance à la dérive de leurs caractéristiques d'émission en fonction de leur température ainsi que l'homogénéité de l'illumination X produite par tous les points de leur foyer. L'invention vise à perfectionner de tels tubes en évitant leur éventuelle destruction sous l'effet d'un échauffement trop important de leur anode.

D'une façon générale des rayons X sont produits par le bombardement électronique, dans une enceinte à vide, d'une cible élaborée dans un matériau à haut numéro atomique. Les électrons nécessaires au bombardement de cette cible sont libérés par effet thermoélectronique, généralement dans un filament hélicoïdal de tungstène, d'une cathode placée avec précision au sein d'une pièce de concentration. La pièce de concentration joue un rôle focalisateur en même temps qu'un rôle de Wehnelt. La cible est constituée par l'anode du tube. Dans ce type de configuration très classique, les vitesses initiales des électrons au niveau de l'émetteur sont très dispersées. Leurs trajectoires présentent donc une structure désordonnée et le système de focalisation est chargé de les rectifier. Mais le système de focalisation n'est généralement pas suffisamment performant. En conséquence au lieu de l'impact sur la cible des électrons de bombardement, on obtient un enchevêtrement assez compliqué des trajectoires. Ceci confère au foyer thermique des rayons X un profil énergétique assez peu favorable avec une bonne qualité d'image.

Dans des développements récents, par exemple dans ceux décrits dans la demande de brevet européen n° 85 106753.8 déposée le 31 mai 1985 on fait référence à une cathode qui n'est plus constituée par un filament mais constituée par une portion d'un ruban présentant, à l'émission des électrons, une surface plane en face de l'anode. L'intérêt d'utiliser un émetteur d'électrons plan a déjà été présenté antérieurement à cette demande. Il consiste à maintenir une certaine cohésion des charges électroniques au cours de leur trajectoire vers la cible. En effet, l'expérience a montré qu'on obtient dans ce cas une répartition de potentiel électrostatique favorable à une meilleure focalisation des charges électriques. Le foyer X ainsi obtenu présente alors un profil énergétique pratiquement homogène, ce qui est bénéfique à la qualité de l'image. La littérature scientifique relate certaines expérimentations basées sur ce principe général. On y fait toujours usage d'émetteur élaboré sous la forme de ruban de tungstène. Mais ces rubans présentent des problèmes de tenue thermomécanique. C'est d'ailleurs pour résoudre de tels problèmes que la demande de brevet européen ci-dessus évoquée a été déposée. En particulier, malgré tous les soins portés au laminage des rubans, des phénomènes de contraintes différentielles se pro-

duisent dans ceux-ci. Ces rubans prennent alors du fait des échauffements et des refroidissements successifs dans le tube une allure dite en tôle ondulée. Les avantages de disposer d'un émetteur plan sont alors perdus.

En plus de ces défauts, les émetteurs plans ou même les émetteurs filaments présentent l'inconvénient que l'allure du profil énergétique du foyer varie d'une manière non maîtrisée avec la charge du tube. La charge du tube correspond au débit de rayonnement X. Ce débit est lié à l'importance de l'effet thermoélectronique dans la cathode, à la température de cette cathode. Or de plus en plus d'appareils de radiologie sont munis de circuits de régulation pour réguler la charge du tube. Cette régulation tient compte du coefficient d'absorption radiologique d'un patient donné à examiner de façon à ce que le rayonnement qui traverse ce patient soit minimum. Cette régulation agit bien entendu sur le circuit de chauffage de la cathode. La technique de régulation tendant à faire agir cette régulation sur la haute tension entre anode et cathode a été abandonnée car cette technique conduit à modifier pendant l'examen la dureté du rayonnement X utilisé.

Mais la modification de la charge du tube n'est pas sans effets sur la distribution énergétique du foyer. En particulier dans certaines situations, compte tenu de la modification de cette charge du tube, on peut atteindre des densités énergétiques en certains endroits de l'anode qui se situent au delà des densités thermiques acceptables pour cette anode. Dans ce cas l'anode peut être détruite. Les phénomènes de dilatation et de compression des surfaces utiles du foyer thermique sont essentiellement liés à l'importance de la charge d'espace véhiculée par les électrons avant d'aller frapper la cible. Encore faut-il lier l'importance de cette charge d'espace à la haute tension d'arrachement des électrons de la cathode.

Il pourrait être envisageable de modifier la fonction de la pièce de focalisation en fonction de la charge d'espace de manière à limiter par exemple les effets destructeurs d'une augmentation brutale trop importante de la densité thermique du foyer. Indépendamment de la complexité d'un tel asservissement, dans l'état actuel non envisageable, il faudrait en plus que cet asservissement puisse anticiper avec rapidité les dérives thermiques et la densité thermique du foyer. Cette solution n'est actuellement pas possible.

En conséquence, dans l'état actuel de la technique, la régulation apportée sur la charge du tube retentit automatiquement en une variation de l'illumination X, et donc sur la qualité des images résultantes. En définitive, le caractère hétéroclite des effets combinés de la charge d'espace et de la haute tension (de la charge du tube), ne permet pas de disposer de tubes dont certaines caractéristiques au moins d'émission seraient maîtrisées quelle que soit la charge.

La présente invention a pour objet de remédier à

cet inconvénient en proposant un dispositif émetteur plan offrant par ailleurs une rigidité mécanique permettant de s'affranchir des problèmes de tôle ondulée évoqués ci-dessus. La solution des problèmes de limitation de la densité thermique le long du foyer en fonction de la charge du tube peut alors être apportée par l'installation d'une telle cathode plane dans une pièce de focalisation dite à marche. On a découvert en effet qu'il y avait alors une autorégulation des caractéristiques de ce foyer. On peut alors en particulier assurer que le quotient du débit électronique par la surface du foyer est maintenu dans des limites supportables du point de vue thermique par la cible. L'intérêt de la solution ainsi présentée est qu'elle s'applique sur une large gamme de haute tension entre l'anode et la cathode de telle façon qu'un même tube peut servir à plusieurs applications.

L'invention a donc pour objet un tube radiogène muni d'une cathode et d'une anode, en regard de la cathode, pour émettre un rayonnement X, caractérisé en ce que

- la cathode est une cathode plane,
- placée à la base d'un dispositif de focalisation à marche.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent. Celles-ci ne sont données qu'à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention. Les figures montrent :

- figure 1 : une coupe schématisée d'un tube radiogène selon l'invention;
- figure 2 : un diagramme énergétique pour le tube de la figure 1 ;
- figure 3 : Une vue en perspective d'un exemple d'une cathode rigide utilisée dans l'invention,
- figure 4 : une vue en coupe de la cathode de la figure 3.

La figure 1 montre schématiquement un tube radiogène selon l'invention. Ce tube radiogène comporte, dans une enceinte à vide non représentée, une cathode 1 située en vis à vis d'une anode 2. L'anode reçoit un rayonnement électronique 3 sur son foyer 4 et réémet un rayonnement X 5 notamment en direction d'une fenêtre d'utilisation 6. La fenêtre d'utilisation fait partie de l'enveloppe du tube. Selon l'invention la cathode présente la particularité d'opposer une face plane 7 en vis à vis de l'anode 2. Elle présente en outre la particularité d'être insérée dans une optique de focalisation 8 dite à marche. Cette optique de focalisation à marche a pour objet de créer une répartition du champ électrique entre l'anode et la cathode telle que le rayonnement 3 des électrons soit du type convergent. On distingue deux types de rayonnement convergent. Dans un premier type, représenté sur la figure 1, le point de convergence des électrons est situé devant le plan de l'anode : il est réel. Dans ce cas, le rayonnement est dit croisé. Dans un deuxième type de rayonnement, dit direct, le point de convergence des électrons se situe derrière l'anode 2 : il est virtuel.

Bien que le dispositif de focalisation 8 puisse être également à simple marche, on a trouvé ici plus

avantageux de le réaliser à double marche. La pièce de focalisation 8 a une forme prismatique dont la figure 1 représente le plan de section droit. La pièce 8 comporte les deux marches, respectivement 9 et 10 réparties symétriquement en 9' et 10' de part et d'autre de la cathode 1. Chaque marche comporte un dessus de marche 91 ou 101 et une contremarche 92 ou 102. (respectivement 91' 92' 101' 102'). Dans un exemple préféré de réalisation le plan 7 de la cathode 1 est distant de l'anode 2 d'une distance d'environ 7.5 mm. Les dessus 91 et 91' des marches 9 et 9' sont distants de l'anode d'environ 6,5 mm. Les dessus, 101 et 101' sont distants eux d'environ 6 mm du plan de l'anode 2. La largeur de la cathode 1, mesurée dans le plan de section droite de la pièce prismatique focale 8, vaut 2 mm. La largeur d'un logement 11 où est placée cette cathode à l'intérieur de la pièce focale 8 vaut 2.2 mm. La distance qui sépare les contremarches 92 et 92' est d'environ 3,65 mm tandis que la distance qui sépare les contremarches 101 et 102' est d'environ 4,65 mm. On peut considérer que les contremarches sont ainsi accolées à des cylindres parallélépipédiques (pris au sens théorique du terme) de largeur respectives 4 mm et 5 mm. De préférence le dispositif a une allure symétrique par rapport à un plan passant par l'axe 12 du rayonnement, perpendiculairement au plan de la figure. En variante cependant, plutôt que d'être prismatique, l'ensemble peut être circulaire, l'axe 12 servant d'axe de révolution à la cathode ainsi qu'à la pièce de focalisation. Il est possible que l'anode 2 soit une anode tournante et même qu'elle présente une face inclinée sur l'axe 12. Dans ce cas les distances indiquées sont plutôt les distances mesurées sur cet axe 12 entre le plan 7 de la cathode et la trace de l'axe 12 sur l'anode 2.

Les dimensions données ci-dessus présentent l'avantage que le flux thermique FT est alors autolimité, pour une haute tension d'utilisation donnée, en fonction de la charge du tube D. En effet, le diagramme de la figure 2 présente trois courbes respectivement 20 à 22 paramétrées par des hautes tensions respectivement de 20 KV, 40 KV, ou 50 KV, affichant dans une plage d'utilisation située entre 150 milliampères et 350 milliampères, une allure bornée. Le flux thermique FT est exprimé en kW par mm<sup>2</sup>. Dans l'exemple indiqué il est toujours inférieur à 50 KW par mm<sup>2</sup>, même pour la haute tension d'utilisation la plus forte.

Dans l'invention, où le rayonnement 3 est convergent et converge en un point de convergence 19, l'augmentation du débit de dose provoque le déplacement en direction de l'anode 2 du point de convergence 19. Dans ce rayonnement de type croisé l'écartement 17 18 des rayons latéraux du faisceau de rayonnement X avant le point de convergence 19 provoque le rétrécissement de la dimension 16, du foyer. On a découvert dans l'invention que ce rétrécissement qui pouvait être désastreux, est en fait autolimité par un phénomène de saturation de l'émission des électrons arrachés de la face supérieure 7 de la cathode 1. En effet, du fait de la concentration, la charge d'espace, qui a naturellement tendance à augmenter avec la charge

du tube (il y a plus d'électrons) augmente à un point tel qu'elle constitue dans certaines conditions un écran pour l'émission des électrons suivants. En quelque sorte cette charge d'espace agit comme une grille. On a en particulier découvert dans l'invention que ce phénomène pouvait être utilisé comme une auto-régulation, à condition de choisir une optique de focalisation particulière.

Cette optique de focalisation est celle décrite ci dessus : elle comporte les marches avec les dimensions données. Le phénomène se produit encore si on s'écarte de ces valeurs. Ce phénomène présente l'avantage de se produire quelle que soit la haute tension d'utilisation du tube. D'une manière compréhensible, ce phénomène de saturation provoque un flux thermique à saturation sur le foyer dont la valeur dépend de cette haute tension. En effet, si la haute tension est faible, les électrons sont relativement moins accélérés, la charge d'espace de saturation se fait plus rapidement sentir : l'embouteillage de saturation se provoque d'autant plus facilement que les électrons vont moins vite. Il est par ailleurs intéressant de remarquer que les courbes 20 à 22 montrant les différents effets sur le flux thermique de ce phénomène de saturation sont, à l'approche de la saturation, sensiblement verticales. Ceci signifie, que dans ce cas les dimensions du foyer du tube sont sensiblement constantes, et que donc les images vont être acquises selon un même protocole, quelle que soit par ailleurs la charge imposée au tube par son système de régulation. L'avantage procuré par l'invention est représenté par le fait qu'au moment de la saturation le débit ne peut plus augmenter, mais surtout le flux thermique ne le peut plus non plus. En choisissant correctement les matériaux d'anode et de cathode ou les conditions d'utilisation des tubes de telle façon que le point de saturation ne soit pas situé hors des tolérances de fonctionnement on obtient alors ainsi le résultat recherché.

Dans un exemple préféré, la cathode 1 a l'allure d'une poutre représentée en perspective sur la figure 3. Cette poutre est prismatique, creuse, et a sensiblement l'allure d'une maison. La base de la maison constitue la face 7 émissive de la cathode, les murs de la maison tels que le mur 23 possèdent des fenêtres telles que 24. L'intérêt de fabriquer une poutre creuse se situe dans la réduction de la quantité de métal à chauffer. Comme cette quantité est plus faible, l'inertie thermique de la cathode est moins grande, le démarrage du tube peut être plus rapide. Par ailleurs la consommation de l'alimentation de chauffage de la cathode peut être réduite ce qui est un avantage quand on sait les problèmes d'isolement auxquels doivent être confrontés les circuits de chauffage de telles cathodes.

Bien qu'on puisse envisager un chauffage direct de cette cathode en faisant passer un courant électrique directement au travers de celle-ci, on préfère utiliser un filament de chauffage 25 par exemple du même type que le filament de chauffage utilisé dans l'état de la technique comme émetteur. Ce filament 25 est lui même polarisé négativement (plusieurs milliers de volts) par rapport à la cathode 1.

Dans un exemple préféré la cathode en poutre est

réalisée en tungstène. Afin de limiter également la quantité d'énergie thermique à fournir pour chauffer la cathode on munit le plafond 26 et l'intérieur des murs de celle-ci d'un matelas 27 de fibres pour concentrer le chauffage sur la partie émissive de la cathode. Dans un exemple les fibres sont des fibres de céramique qui permettent un bon isolement des parois internes de la maison. Les électrons émis par le filament chauffant bombardent alors l'arrière de la cathode selon un dessin représenté par les courbes de champ électrique 28. Ce bombardement est limité à la paroi avant. Par ailleurs cette paroi avant présente un profil concave. Dans un exemple préféré ce profil concave est même tellement concave que des ailes respectivement 29 et 30 de cette cathode présentent des faces intérieures, respectivement 31 et 32, plus proches du filament 25 que ne l'est la face intérieure de la cathode à l'endroit 33 de son milieu. De cette manière les ailes qui sont à la fois plus épaisses et qui seraient plus dures à chauffer sont cependant plus chauffées de manière à ce que la face active de la poutre soit portée en tous points à une température sensiblement constante de manière à émettre avec un débit sensiblement constant le rayonnement d'électrons attendu.

Bien que la poutre selon l'invention présente maintenant l'intérêt qu sa face émissive 7 ne se distorde plus sous les effets des échauffements, elle subit cependant des dilatations qu'il convient de guider sans les contrarier. Dans ce but la cathode est fixée par une patte unique 34 constituant en quelque sorte la cheminée de la maison. La mode de fixation est de préférence obtenue par blocage de cette patte 34 entre deux vis 35 et 36 qui viennent l'enserrer entre elles respectivement. Ce montage à un point de fixation présente l'avantage de laisser à la cathode tous les degrés de liberté voulus. Il est en particulier préférable à un mode de fixation avec deux points qui présenterait l'inconvénient que les réactions entre ces deux points se répercuteraient inmanquablement sur la planéité de la surface émissive 7. Pour guider les déplacements de la cathode avec la température, les murs de cette cathode sont maintenus dans la pièce focale 8 par des pions de céramique tels que 37 et 38 qui viennent s'appuyer de part et d'autre sur elle. Ceci permet d'éviter tout phénomène de flexion ou de vibration néfaste à un exact positionnement de l'émetteur dans la pièce de focalisation. Les pions permettent à l'émetteur de se dilater thermiquement suivant sa plus grande longueur tout en le maintenant latéralement dans sa position de référence. En pratique, l'alimentation électrique de la cathode peut être obtenue en faisant passer la haute tension par les vis 35 ou 36. La pièce focale 8 peut être découplée électriquement de la poutre.

## Revendications

1 - Tube radiogène à limitation de flux thermique comportant une cathode (1) et une anode (2), pour émettre (4) un rayonnement X (3), situé en regard de la cathode, caractérisé en ce

que

- la cathode est une cathode plane (7)
- placée à la base d'un dispositif (8) de focalisation à marche.

2 - Tube selon la revendication 1 caractérisé en ce que la forme du dispositif de focalisation est agencée pour que le rayonnement X soit croisé (19).

3 - Tube selon la revendication 1 ou la revendication 2 caractérisé en ce que le dispositif de focalisation est à double marche (9,10).

4 - Tube selon la revendication 3 caractérisé en ce que

- le plan de la cathode est éloigné d'environ 7.5 mm de l'anode,
- le dispositif de focalisation comporte
- un plan profond commun avec le plan de la cathode, et limité par un cylindre d'environ 3.65 mm de largeur,
- un plan intermédiaire (91, 91') situé à environ 6.5 mm de l'anode, et limité par un cylindre d'environ 4.65 mm de largeur,
- et un plan supérieur (101,101') situé à environ 6 mm de l'anode.

5 - Tube radiogène selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 caractérisé en ce que cette cathode comporte une poutre.

6 - Tube selon la revendication 5 caractérisé en ce que la poutre est creuse (24).

7 - Tube selon la revendication 6 caractérisé en ce que la cathode est chauffée par un dispositif (25) de chauffage indirect.

8 - Tube selon la revendication 7 caractérisé en ce que le dispositif de chauffage comporte un matelas (27) de fibres pour concentrer le chauffage sur la partie émissive de la cathode.

9 - Tube selon la revendication 7 ou la revendication 8 caractérisé en ce qu'une face interne de la cathode, opposée à la face plane, a une forme concave avec des ailes (29,30) plus proches du dispositif de chauffage qu'une partie centrale interne de cette forme concave.

10 - Tube selon l'une quelconque des revendications 5 à 9, caractérisé en ce qu'au moins une des parois (23) de la poutre comporte un évidement (24).

11 - Tube selon l'une quelconque des revendications 5 à 10 caractérisé en ce que la poutre est fixée au tube par un seul point (34) de fixation.

12 - Tube selon l'une quelconque des revendications 5 à 11 caractérisé en ce que la poutre est guidée par des pions (37,38) de céramique fixés de part et d'autre d'elle sur un dispositif, (8) de focalisation.

30

35

40

45

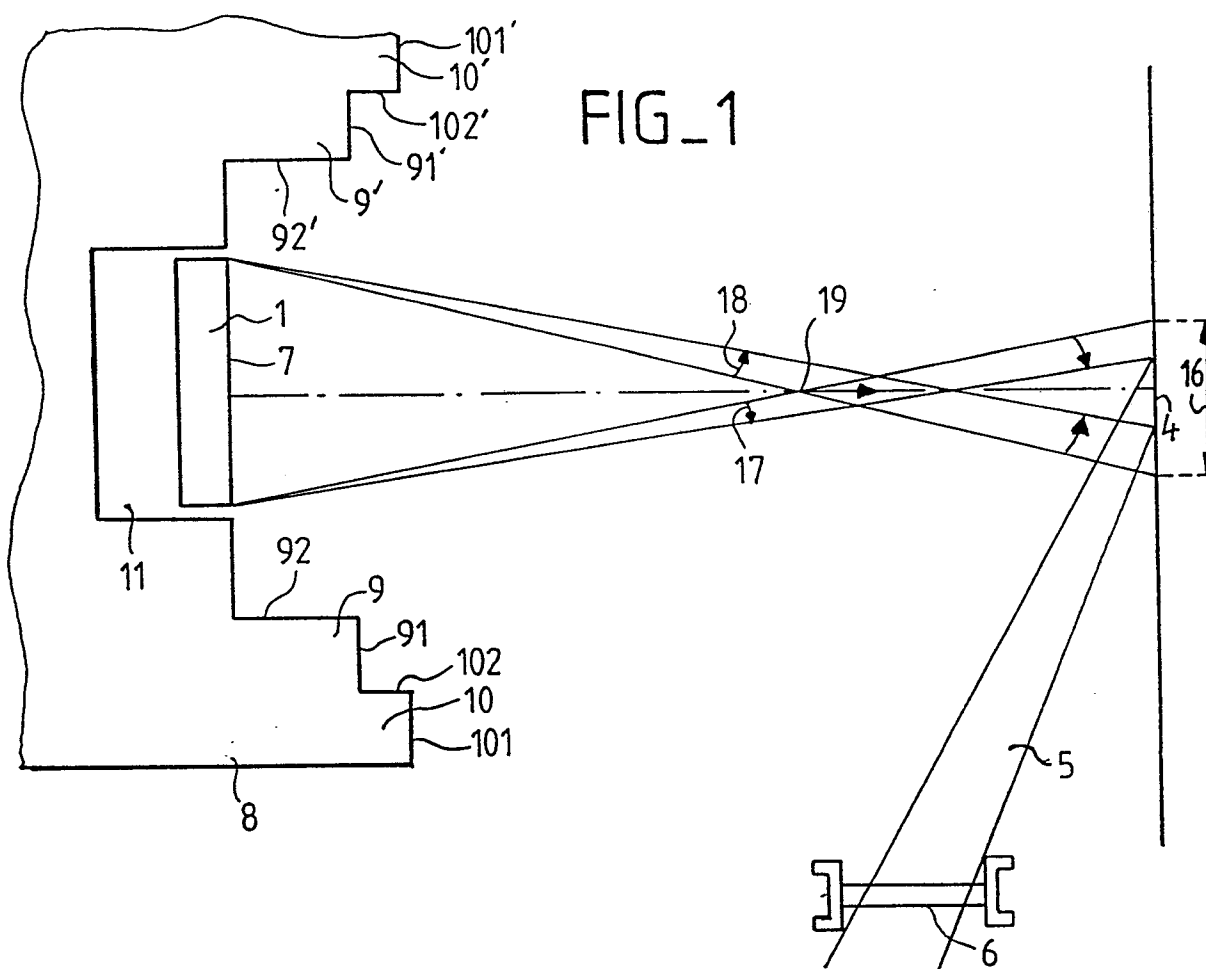
50

55

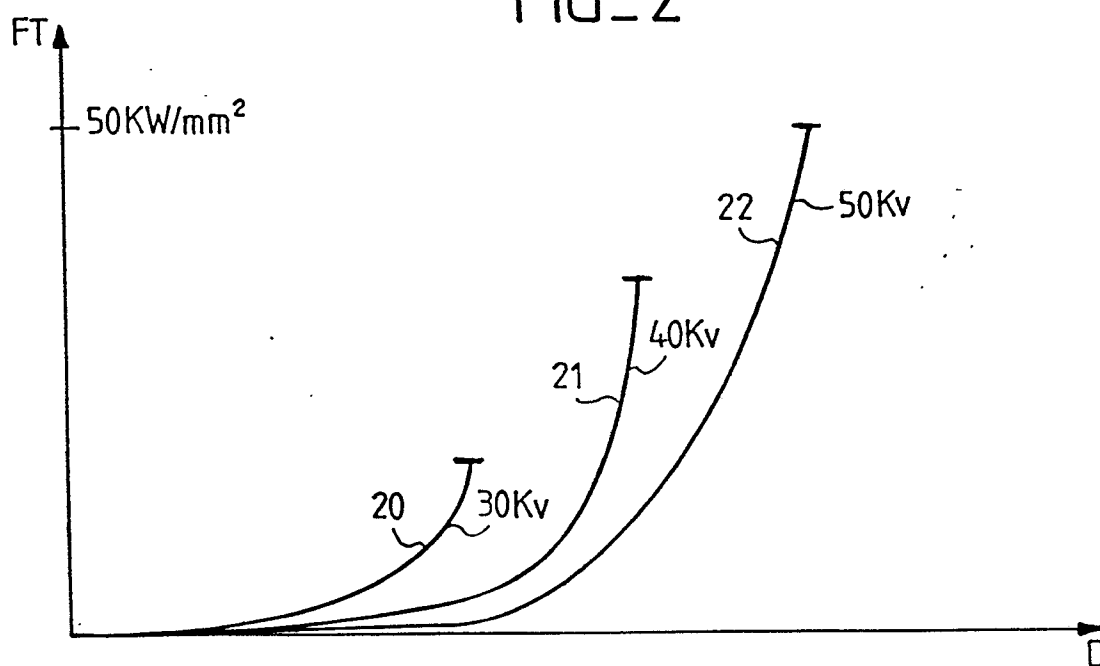
60

65

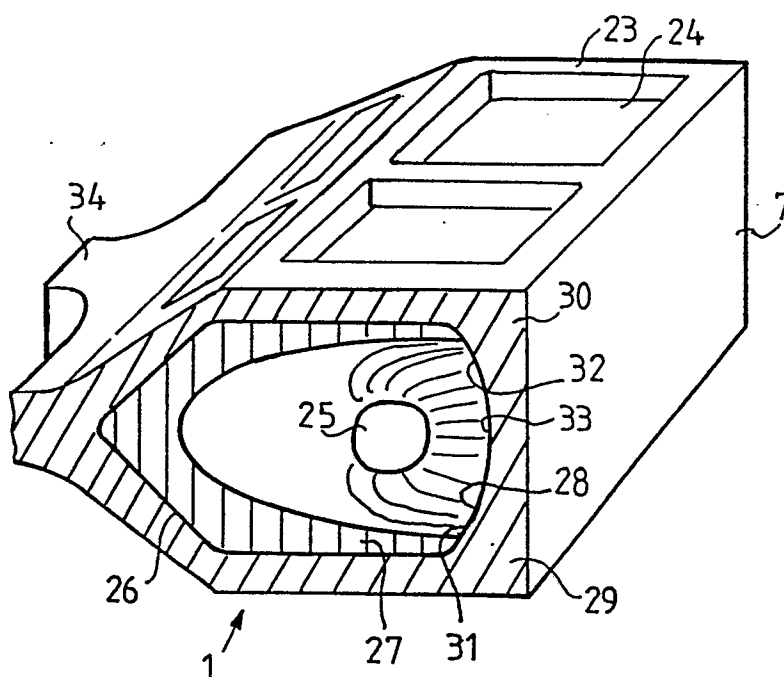
5



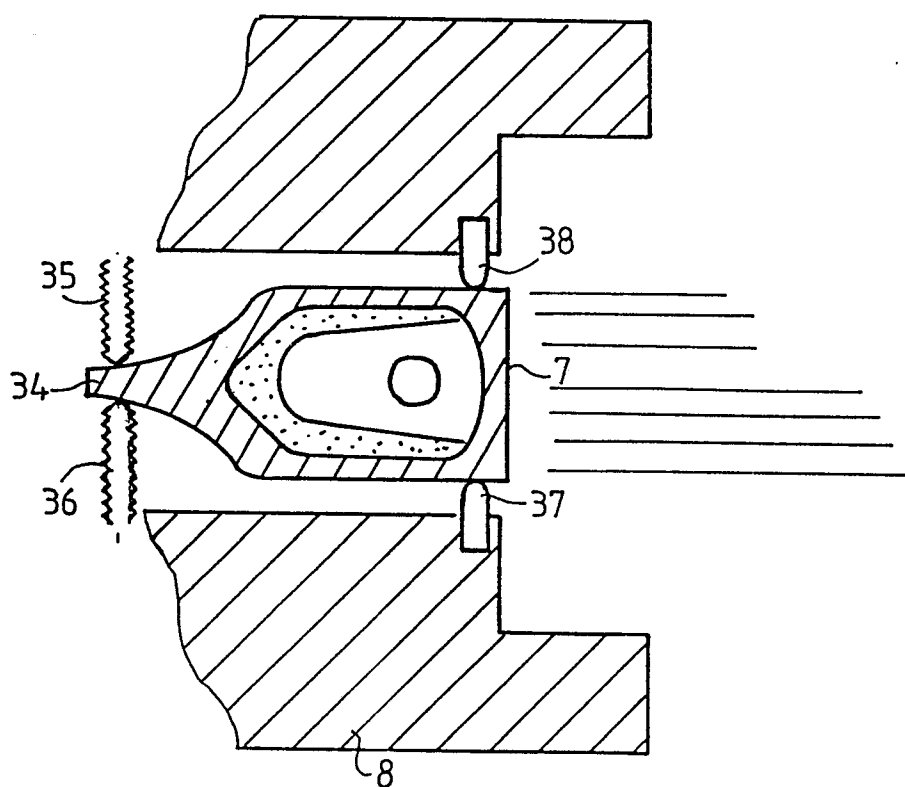
FIG\_2



FIG\_3



FIG\_4





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.5)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 2, no. 64 (E-33)[2148], 17 mai 1978, page 2148 E 78; & JP-A-53 30 292 (TOKYO SHIBAURA DENKI K.K.) 22-03-1978 * Résumé * ---	1,5	H 01 J 35/06 H 01 J 35/14
A	US-A-1 923 876 (A. MUTSCHELLER) * Page 1, lignes 1-51; page 1, ligne 80 - page 2, ligne 26; figure 1 * ---	1	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 4, no. 157 (E-32)[639], 4 novembre 1980, page 131 E 32; & JP-A-55 108 158 (HITACHI SEISAKUSHO K.K.) 19-08-1980 * Résumé * ---	1-3	
A	US-A-4 344 011 (TADASHI HAYASHI et al.) * Colonne 1, ligne 5 - colonne 2, ligne 65; colonne 3, ligne 30 - colonne 4, ligne 51; colonne 5, ligne 8 - colonne 6, ligne 36; figures 1-6 * ---	1-3	
A	DE-C- 416 533 (SIEMENS & HALSKE AG) * En entier * -----	1,5-7, 11	H 01 J
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 11-09-1989	Examineur GNUGESSER H.M.
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	