

12

# DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: 89202464.7

51 Int. Cl.<sup>5</sup>: H05H 3/06

22 Date de dépôt: 02.10.89

30 Priorité: 07.10.88 FR 8813186

43 Date de publication de la demande:  
11.04.90 Bulletin 90/15

84 Etats contractants désignés:  
CH DE FR GB IT LI NL

71 Demandeur: SOCIETE ANONYME D'ETUDES  
ET REALISATIONS NUCLEAIRES - SODERN  
1 Avenue Descartes  
F-94451 Limeil Brevannes Cédex(FR)

84 FR

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

84 CH DE GB IT LI NL

72 Inventeur: Bernadet, Henri Société Civile  
S.P.I.D.

209 rue de l'Université  
 F-75007 Paris(FR)

Inventeur: Godechot, Xavier Société Civile  
 S.P.I.D.

209 rue de l'Université  
 F-75007 Paris(FR)

Inventeur: Lejeune, Claude Société Civile  
 S.P.I.D.

209 rue de l'Université  
 F-75007 Paris(FR)

74 Mandataire: Lemoyne, Didier et al  
 S.P.I.D. 209, rue de l'Université  
 F-75007 Paris(FR)

54 Dispositif d'extraction et d'accélération des ions limitant la réaccélération des électrons secondaires dans un tube neutronique scellé à haut flux.

57 Dispositif d'extraction et d'accélération d'ions dans un tube neutronique scellé à haut flux contenant un mélange gazeux deutérium-tritium sous faible pression et dans lequel une source d'ions (12) fournit plusieurs faisceaux ioniques (3a, 3b,... 3e) projetés sur une électrode cible (4) au moyen d'un système d'extraction et d'accélération pour y produire une réaction de fusion entraînant une émission de neutrons. Selon l'invention, une électrode additionnelle (13) est disposée à proximité et en aval de la dernière électrode d'accélération (2) dans l'espace du tube compris entre cette dernière électrode d'accélération et la cible et les polarisations de chacune de ces deux électrodes d'accélération et additionnelle par rapport à la cible sont choisies de façon à repousser les électrons secondaires créés par ionisation du gaz sur le trajet desdits faisceaux ce qui rend possible l'accroissement de la longueur dudit espace pour réduire fortement la non uniformité du bombardement ionique sur la cible et ainsi accroître la durée de vie du tube.

Application aux tubes neutroniques.

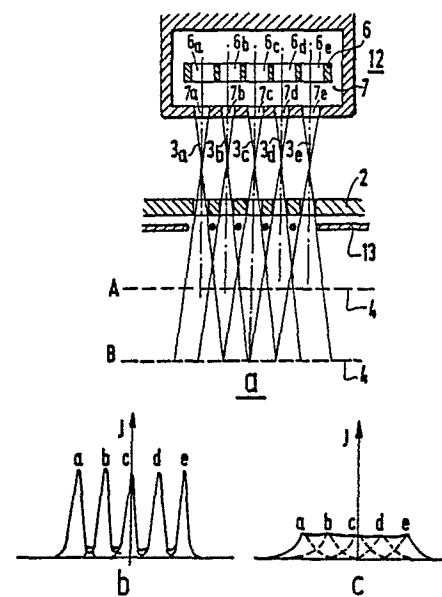


FIG.3

## DISPOSITIF D'EXTRACTION ET D'ACCELERATION DES IONS LIMITANT LA REACCELERATION DES ELECTRONES SECONDAIRES DANS UN TUBE NEUTRONIQUE SCELLE A HAUT FLUX

L'invention concerne un dispositif d'extraction et d'accélération d'ions dans un tube neutronique scellé à haut flux contenant un mélange gazeux deutérium-tritium sous faible pression à partir duquel une source d'ions fournit un (ou des) faisceau(x) ionique(s) extrait(s) et accéléré(s) à grande énergie en traversant un système d'extraction et d'accélération, pour être projeté(s) sur une électrode cible et y produire une réaction de fusion entraînant une émission de neutrons.

Les tubes neutroniques du même genre sont utilisés dans les techniques d'examen de la matière par neutrons rapides, thermiques, épithermiques ou froids : neutronographie, analyse par activation, analyse par spectrométrie des diffusions inélastiques ou des captures radiatives, diffusion des neutrons etc...

L'obtention de la pleine efficacité de ces techniques nucléaires nécessite d'avoir, pour les niveaux d'émission correspondants, des durées de vie de tubes plus longues.

La réaction de fusion  $d(3H, 4He)n$  délivrant des neutrons de 14 MeV est habituellement la plus utilisée en raison de sa grande section efficace pour des énergies d'ions relativement faibles. Toutefois, quelle que soit la réaction utilisée, le nombre de neutrons obtenu par unité de charge transitant dans le faisceau est toujours croissant au fur et à mesure que l'énergie des ions dirigés vers une cible épaisse est elle-même croissante et ceci largement au delà des énergies des ions obtenus dans les tubes scellés actuellement disponibles et alimentés par une THT n'excédant pas 250 kV.

Parmi les principaux facteurs limitatifs de la durée de vie d'un tube neutronique, l'érosion de la cible par le bombardement ionique est l'un des plus déterminants.

L'érosion est fonction de la nature chimique et de la structure de la cible d'une part, de l'énergie des ions incidents et de leur profil de répartition en densité sur la surface d'impact d'autre part.

Dans la plupart des cas, la cible est constituée par un matériau hydrurable (Titane, Scandium, Zirconium, Erbium etc...) capable de fixer et de relâcher des quantités importantes d'hydrogène sans perturbation notable de sa tenue mécanique ; la quantité totale fixée est fonction de la température de la cible et de la pression d'hydrogène dans le tube. Les matériaux cibles utilisés sont déposés sous forme de couches minces dont l'épaisseur est limitée par des problèmes d'adhérence de la couche sur son support. Un moyen de retarder l'érosion de la cible consiste par exemple à former la couche active absorbante d'un empilage de cou-

ches identiques isolées les unes des autres par une barrière de diffusion. L'épaisseur de chacune des couches actives est de l'ordre de la profondeur de pénétration des ions deutérium venant frapper la cible.

Une autre façon de protéger la cible et donc d'accroître la durée de vie du tube consiste à agir sur le faisceau d'ions de manière à améliorer son profil de répartition en densité sur la surface d'impact. A courant d'ions total constant sur l'électrode cible, ce qui entraîne une émission neutronique constante, cette amélioration résultera d'une répartition aussi uniforme que possible de la densité de courant sur l'ensemble de la surface offerte par la cible au bombardement des ions.

Un des moyens de réduire cette densité maximale est d'utiliser la divergence du faisceau dans l'espace de glissement compris entre le point de convergence et la cible. Tout accroissement dans cet espace d'un facteur  $x$  du parcours des ions se traduit par une réduction du type en  $1/x^2$  du maximum de densité de bombardement.

Dans un tube neutronique scellé, la pression du mélange deutérium-tritium nécessaire à l'obtention du courant d'ions est au premier ordre, la même dans tout le tube. Or les ions extraits et accélérés vers la cible vont réagir avec les molécules du gaz pour produire des effets d'ionisation, de dissociation et d'échange de charges entraînant d'une part une diminution de l'énergie moyenne des ions sur la cible, c'est-à-dire une réduction de la production de neutrons et d'autre part la formation d'ions et d'électrons qui sont ensuite accélérés et vont bombarder la source d'ions ou les électrodes du tube.

Il en résulte des dépôts d'énergie qui vont accroître la température des matériaux des électrodes tels que le molybdène ou l'acier inoxydable, ou du carbone pyrolytique. L'échauffement de ces matériaux va provoquer la désorption d'impuretés telles que l'oxyde de carbone qu'ils renferment et perturber ainsi la qualité de l'atmosphère du tube. Les ions d'impuretés formés dans le tube,  $Co^+$  par exemple, vont bombarder la cible avec un coefficient de pulvérisation supérieur d'un facteur de  $10^2$  à  $10^3$  à celui des ions deutérium-tritium, d'où une accentuation importante de l'érosion.

Ces effets croissent avec la pression de fonctionnement et la longueur de trajet des ions. Ainsi, une correction aux inhomogénéités du bombardement de la cible qui pourrait être apportée par une augmentation dudit trajet est rendue inopérante du fait de l'accroissement des réactions ions-gaz, supérieur ou égal à la simple proportionnalité.

Le but de l'invention est de procurer une structure pour laquelle ces réactions n'ont plus de répercussions préjudiciables au fonctionnement du tube. Pour cela, il suffit d'éviter que les électrons créés par les ions du faisceau puissent "remonter" vers la source d'ions où ils déposeraient une énergie importante. Il est donc nécessaire de les repousser à l'intérieur de l'espace de glissement où ils n'acquiescent qu'une très faible énergie et de les collecter sur les électrodes limitant cet espace.

A cet effet, l'invention est remarquable en ce que ledit système d'accélération comporte une électrode additionnelle polarisée de façon à limiter la réaccélération vers la source des électrons secondaires créés par ionisation du gaz sur le trajet dudit (ou desdits) faisceau(x) à l'intérieur de l'espace compris entre ledit système d'extraction et d'accélération et ladite électrode cible, ce qui rend possible l'accroissement dudit espace pour réduire fortement les inhomogénéités du bombardement ionique.

Un mode de réalisation du dispositif de l'invention est constitué par une dernière électrode d'accélération portée au même potentiel que la cible et ladite électrode additionnelle jouant le rôle d'électrode de répulsion d'électrons, polarisée négativement par rapport à ladite dernière électrode d'accélération et dont le plan est situé à proximité et en aval du plan de sortie de la dernière électrode d'accélération dans l'espace équipotentiel électrode accélétratrice-cible.

Dans un autre mode de réalisation, ledit dispositif de l'invention comporte une dernière électrode d'accélération d'ions polarisée négativement par rapport à l'électrode cible pour jouer le rôle d'électrode de répulsion d'électrons. Ladite électrode additionnelle, disposée à proximité et en aval du plan de sortie de ladite dernière électrode d'accélération d'ions est polarisée au même potentiel que la cible. Les électrons sont quant à eux collectés par la cible et l'électrode additionnelle.

Les dispositifs conformes à l'invention n'entraînent pas de perturbation sensible au niveau du fonctionnement du tube lorsqu'on augmente l'espace de glissement.

- Les ions énergétiques ne perdent que très peu d'énergie lors des chocs ionisants (de l'ordre de  $10^{-4}$ ) et, lors des échanges de charge, ils se transforment en neutres rapides de même énergie que l'ion incident.

- Les électrons et les ions créés dans l'espace de glissement n'ont par conséquent qu'une faible énergie et compte tenu des polarisations des électrodes sont captés par celles-ci et les énergies déposées sont réduites (de l'ordre de 1 % de l'énergie dissipée sur la cible). L'accroissement de longueur de l'espace de glissement aura simplement pour effet d'accroître les courants interélec-

trodes (cible-électrode d'accélération ou électrode de répulsion-électrode d'accélération et cible) ce qui se traduira par un faible échauffement. Ces électrodes seront donc réalisées en matériau réfractaire.

La description suivante en regard des dessins annexes, le tout donné à titre d'exemple fera bien comprendre comment l'invention peut être réalisée.

La figure 1 représente le schéma de principe d'un tube neutronique scellé selon l'état de l'art antérieur.

La figure 2 montre les effets de l'érosion en profondeur de la cible et le profil radial de densité de bombardement des ions.

La figure 3 représente schématiquement une première variante de la structure des éléments d'optique ionique du dispositif de l'invention.

La figure 4 montre la répartition du potentiel suivant l'axe du faisceau ionique dans le cas du dispositif de la figure 3.

La figure 5 représente schématiquement une deuxième variante de la structure des éléments d'optique ionique du dispositif de l'invention.

La figure 6 montre la répartition du potentiel suivant l'axe du faisceau ionique dans le cas du dispositif de la figure 5.

Le schéma de la figure 1 montre les principaux éléments de base d'un tube neutronique scellé 11 renfermant un mélange gazeux sous faible pression à ioniser tel que deutérium-tritium et qui comporte une source d'ions 1 et une électrode d'accélération 2 entre lesquelles existe une différence de potentiel très élevée permettant l'extraction et la focalisation du faisceau d'ions 3 et sa projection sur la cible 4 où s'effectue la réaction de fusion entraînant une émission de neutrons à 14 MeV par exemple.

La source d'ions 1 solidaire d'un isolateur 5 pour le passage du connecteur d'alimentation en THT (non représenté) est une source de type Penning par exemple, constituée d'une anode cylindrique 6, d'une structure cathodique 7 à laquelle est incorporé un aimant 8 à champ magnétique axial qui confine le gaz ionisé 9 aux alentours de l'axe du cylindre d'anode et dont les lignes de force 10 accusent une certaine divergence. Un canal d'émission des ions 12 est pratiqué dans ladite structure cathodique en vis-à-vis de l'anode.

Les schémas de la figure 2 représentent les effets de l'érosion sur la cible au fur et à mesure que s'accroît le phénomène.

La figure 2a montre le profil de la densité  $J$  de bombardement des ions suivant une direction radiale quelconque Or, à partir du point d'impact 0 de l'axe central du faisceau sur la surface de la cible pour une optique standard à une seule électrode. La forme de ce profil met en valeur le caractère inhomogène de ce faisceau dont la den-

sité très élevée dans la partie centrale décroît rapidement lorsqu'on s'en éloigne.

Sur la figure 2b l'érosion s'effectue en fonction de la densité de bombardement et toute la couche de matériau hydruable d'épaisseur  $e$  déposée sur un substrat  $S$  est saturée en mélange deutérium-tritium. La profondeur de pénétration des ions énergétiques deutérium-tritium représentée en traits pointillés s'effectue sur une profondeur  $l_1$  fonction de cette énergie.

Sur la figure 2c, l'érosion de la couche est telle que la profondeur de pénétration  $l_2$  est supérieure à l'épaisseur  $e$  dans la partie la plus bombardée ; une partie des ions incidents s'implante dans le substrat et très rapidement les atomes de deutérium et de tritium sont en sursaturation.

Sur la figure 2d, les atomes de deutérium et de tritium se sont rassemblés pour donner des bulles qui, en éclatant ont formé des cratères et accru très rapidement l'érosion de la cible sur la profondeur  $l_3$ .

Ce dernier processus précède de peu la fin de vie du tube en entraînant soit un accroissement drastique des claquages (présence de microparticules résultant des éclatements de bulles), soit une pollution de la surface de la cible par les atomes pulvérisés absorbant l'énergie des ions incidents.

On a schématisé sur la figure 3a un tube neutronique comportant une source d'ions 12 de type Penning multicellulaire à multifaisceaux dont l'anode cylindrique 6 percée de multitrous juxtaposés 6a, 6b,... 6e est portée à un potentiel supérieur de l'ordre de 4 kV à celui de la cathode 7 portée elle-même à une très haute tension de 250 kV par exemple.

Les faisceaux ioniques 3a, 3b,... 3e issus des canaux d'émission 7a, 7b... 7e pratiqués dans la cathode en vis-à-vis des trous d'anode correspondants sont projetés sur la cible 4 au moyen de l'électrode d'accélération 2.

La section de faisceau intercepté par la cible dépend de la divergence des trajectoires et surtout de la distance de la cible au point de convergence.

Le schéma de la figure 3a illustre cette propriété par un choix judicieux de la position de la cible.

On voit sur cette figure que pour la position A, les surfaces d'impact des faisceaux élémentaires sur la cible sont distinctes les unes des autres et le profil de densité  $J$  de chaque faisceau élémentaire se présente comme indiqué sur la figure 3b avec une valeur axiale élevée et une décroissance rapide de part et d'autre de l'axe.

Un moyen pour obtenir une répartition de densité plus homogène à l'impact du faisceau global sur la cible consiste à éloigner celle-ci de la source, de la position A à la position B par exemple, de telle façon qu'il y ait chevauchement des faisceaux

élémentaires.

On constate sur la figure 3c que le profil de densité  $J$  de chaque faisceau sur la cible est plus étalé et que sa valeur axiale est plus faible. De plus, le recouvrement des profils élémentaires permet d'obtenir un profil résultant à peu près homogène.

Malheureusement ce résultat idéal ne saurait être atteint en pratique du fait de l'accroissement des phénomènes d'ionisation du gaz par les ions du faisceau lorsqu'on augmente la longueur des trajectoires dans l'espace cible-électrode accélératrice pour une structure selon l'art antérieur. En effet les électrons ainsi créés sont réaccélérés en direction de la source et des électrodes du tube dont l'échauffement entraîne un effet de désorption des impuretés et la création d'ions d'impuretés tels que  $Co^+$  dont le coefficient de pulvérisation est supérieur de  $10^2$  à  $10^3$  fois celui des ions deutérium, ce qui perturbe gravement la qualité de l'atmosphère du tube. Par ailleurs les électrons secondaires émis par la cible au rythme de plusieurs électrons émergents par ion incident et réaccélérés de la même façon vers la source contribuent également à l'accroissement de son échauffement et finalement à sa destruction.

Le dispositif de l'invention permet de repousser les électrons secondaires émis par la cible ainsi que ceux créés par ionisation du gaz. Dans une première variante de ce dispositif, on y parvient en disposant une électrode additionnelle 13 convenablement polarisée à proximité de l'électrode d'accélération dans l'espace de glissement compris entre cette électrode et la cible, ce qui permet de bénéficier alors pleinement de l'effet d'éloignement de la cible. Cette électrode additionnelle est portée à un potentiel négatif (-5 kV par exemple) par rapport à ceux de l'électrode d'accélération et de la cible mises à la masse et réalisée en un matériau réfractaire pour parer à son échauffement par les courants interélectrodes dans l'espace cible-électrode accélératrice.

La figure 4 montre la répartition de potentiel suivant l'axe du faisceau ionique pour le dispositif de la figure 3.

Au lieu d'éloigner la cible de la source d'ions on a supposé (ce qui revient au même) que la cible est fixe et que l'ensemble source d'ions-électrodes est déplacé en sens inverse.

On a porté en abscisse d'une part les positions de la cible C, de l'électrode suppressseuse ES1, de l'électrode accélératrice EA1 et de la source S1 pour une certaine configuration de tube neutronique et d'autre part les positions de l'électrode suppressseuse ES2, de l'électrode accélératrice EA2 et de la source S2 pour une autre configuration de tube neutronique correspondant à un doublement de l'espace de glissement. On a indiqué

en ordonnée le niveau de potentiel VS de l'électrode supresseuse. Les courbes en trait continu et en traits mixtes représentent respectivement l'écart entre le potentiel V suivant l'axe du faisceau d'ions et le potentiel Vc de la cible pour les deux configurations. Les variations de cet écart de potentiel dans les zones C-ES1 et C-ES2 et les champs électriques qui en résultent produisent l'effet "repousseur" de l'électrode additionnelle par laquelle les électrons émis par la cible et ceux créés par ionisation sont collectés par la cible. Les mêmes variations de potentiel dans les zones d'accélération des ions ES1-S1 et ES2-S2, identiques dans les deux configurations, montrent que le régime de fonctionnement des tubes reste inchangé, le flux d'électrons créé dans cette région, accéléré vers la source d'ions, restant identique.

La figure 5 représente une deuxième variante du dispositif de l'invention dans laquelle une électrode porte-cible 14 en forme de puits, ou pouvant avoir une structure à trous, au même potentiel que la cible 4 est disposée au voisinage de l'électrode d'accélération 2 dans l'espace compris entre cette électrode et la cible. L'effet de répulsion d'électrons est réalisé en polarisant l'électrode d'accélération à un potentiel Va légèrement négatif par rapport à la cible.

Un graphique analogue à celui de la figure 4 illustre en figure 6, pour cette deuxième variante du dispositif, la variation du potentiel V-Vc suivant l'axe du faisceau ionique. On a porté en abscisse les positions ER1 et ER2 du rebord de l'électrode porte-cible placée à proximité de l'électrode d'accélération. Les considérations ci-dessus pour le graphique de la figure 4 restent valables.

## Revendications

1. Dispositif d'extraction et d'accélération d'ions dans un tube neutronique scellé à haut flux contenant un mélange gazeux deutérium-tritium sous faible pression à partir duquel une source d'ions fournit un (ou des) faisceau(x) ionique(s) extrait(s) et accéléré(s) à grande énergie en traversant un système d'extraction et d'accélération, pour être projeté(s) sur une électrode cible et y produire une réaction de fusion entraînant une émission de neutrons, caractérisé en ce que ledit système d'extraction et d'accélération comporte une électrode additionnelle polarisée de façon à limiter la réaccélération vers la source des électrons secondaires créés par ionisation du gaz sur le trajet dudit (ou desdits) faisceau(x) à l'intérieur de l'espace compris entre ledit système d'extraction et d'accélération et ladite électrode cible, ce qui rend possible l'accroissement dudit espace pour réduire fortement les inhomogénéités du bombardement ioni-

que.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit système d'extraction et d'accélération comporte une dernière électrode d'accélération communiquant aux ions l'énergie nominale portée au même potentiel que ladite électrode cible et ladite électrode additionnelle jouant le rôle d'électrode de répulsion d'électrons, polarisée négativement par rapport à ladite dernière électrode d'accélération et dont le plan est situé à proximité et en aval du plan de sortie de la dernière électrode d'accélération dans l'espace équipotentiel électrode accélératrice-cible.

3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit système d'accélération comporte une dernière électrode d'accélération et ladite électrode additionnelle portée au même potentiel que ladite électrode cible et dont le plan est situé à proximité et en aval du plan de sortie de la dernière électrode d'accélération dans l'espace électrode accélératrice-cible, ladite électrode d'accélération assurant le rôle d'électrode de répulsion d'électrons étant polarisée négativement par rapport à l'ensemble électrode additionnelle-électrode cible.

4. Dispositif selon les revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il permet de former plusieurs faisceaux élémentaires issus d'une même ou de plusieurs sources d'ions mais irradiant la même électrode cible.

5. Dispositif selon les revendications 2 et 3, caractérisé en ce que ladite électrode d'accélération est réalisée en matériau conducteur réfractaire.

6. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite électrode additionnelle de répulsion est réalisée en matériau réfractaire.

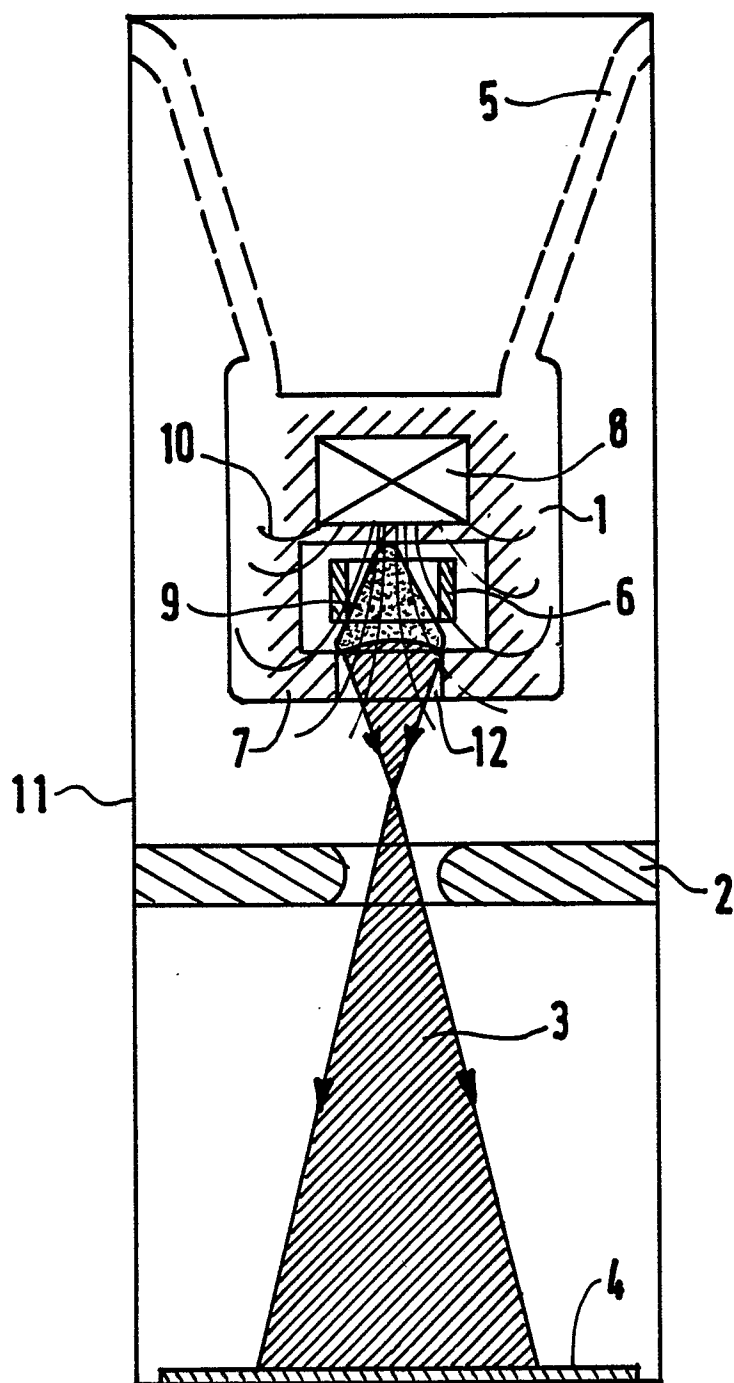


FIG.1

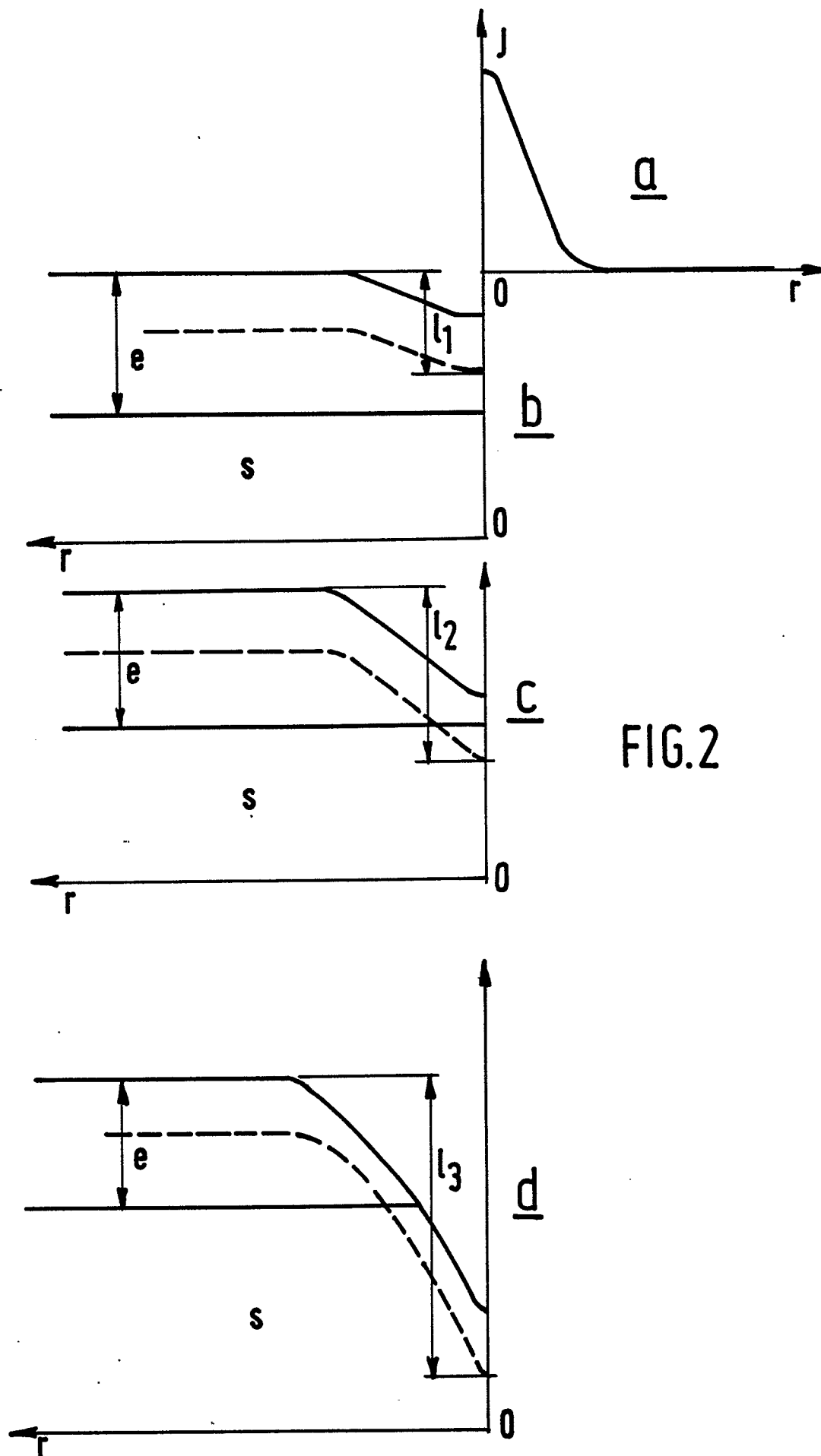


FIG.2

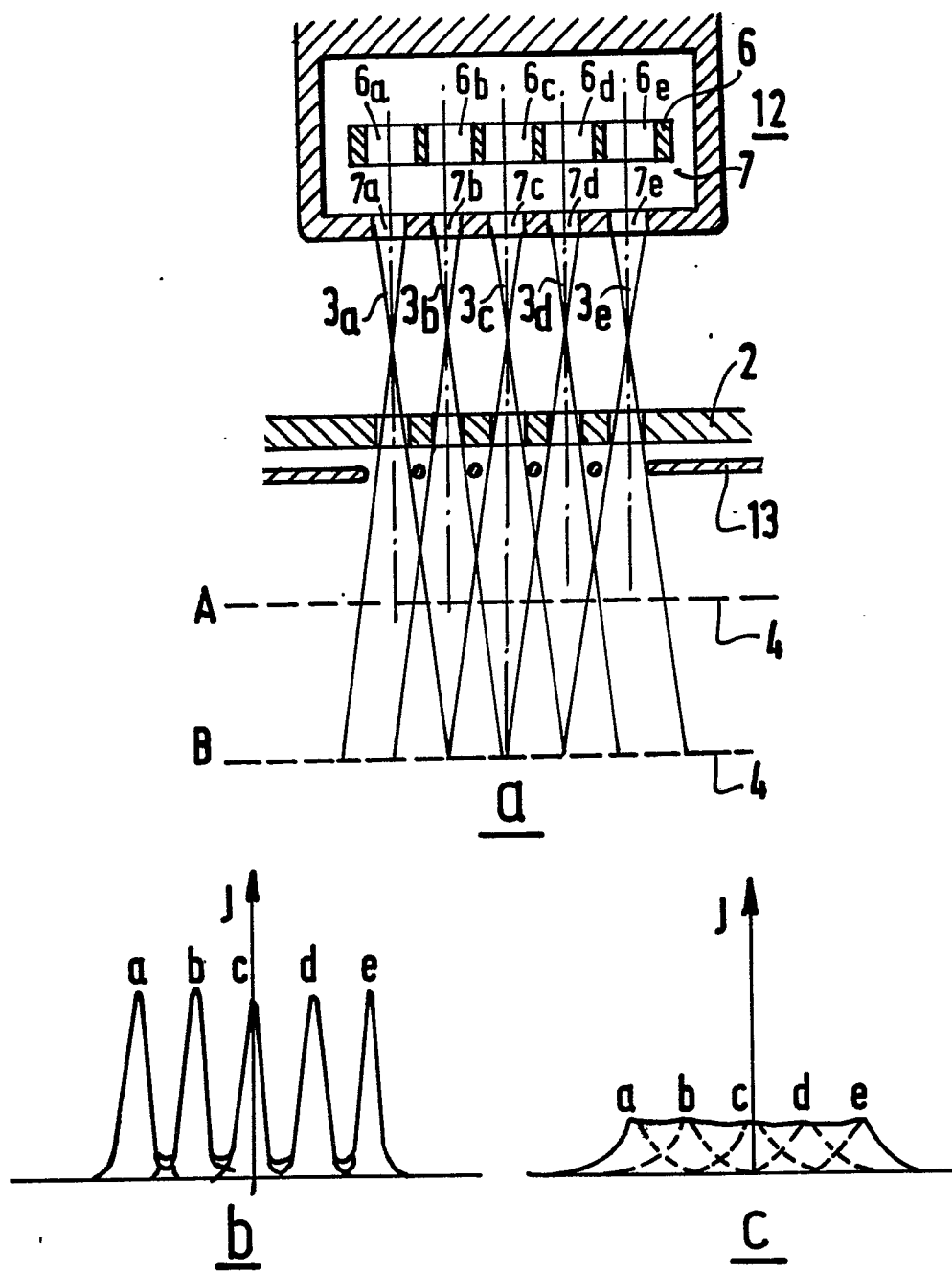
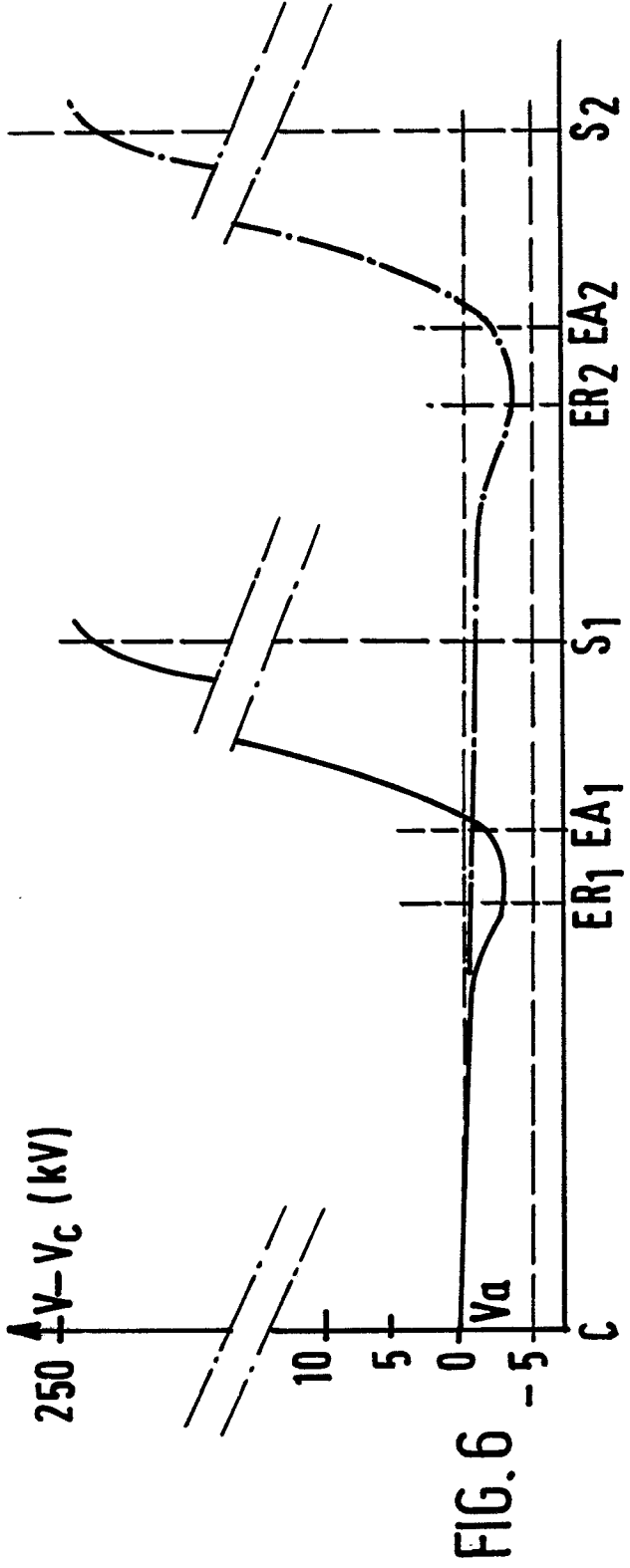
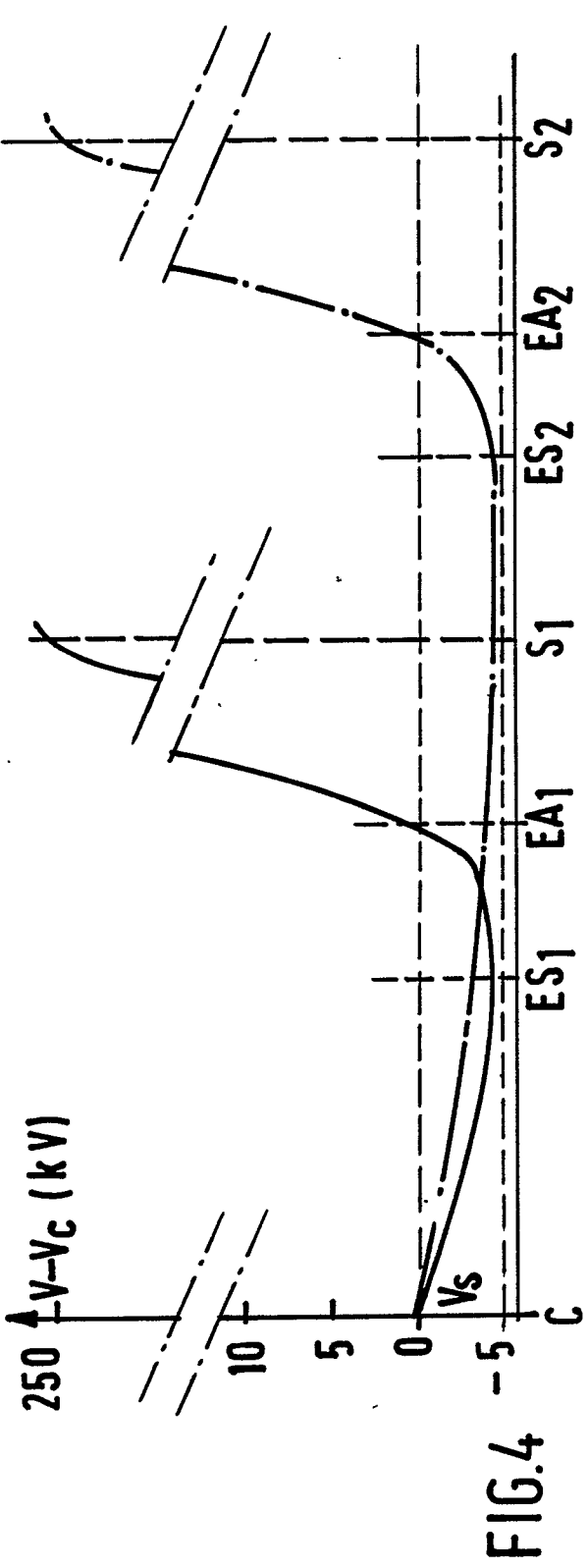


FIG.3





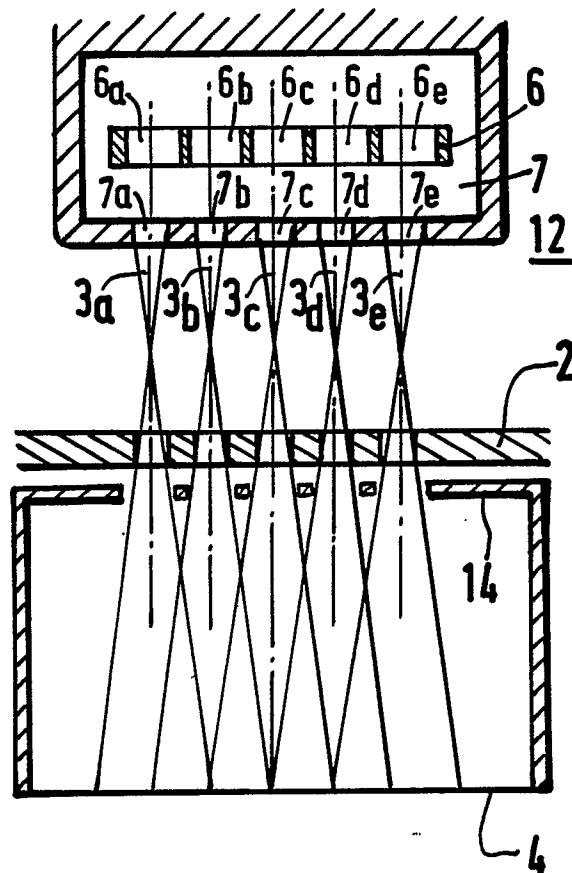


FIG. 5



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)
X	US-A-3 448 314 (J.E. BOUNDEN et al.) * Figures 1,2,3; colonne 2, lignes 26-49; colonne 4, lignes 34-69; colonne 3, lignes 71-75; colonne 5, lignes 10-21; colonne 5, lignes 27-30; colonne 6, lignes 25-37; revendication 3 * ---	1,3	H 05 H 3/06
X	US-A-4 529 571 (F.M. BACON et al.) * Figure 1; colonne 2, lignes 37-44; colonne 4, lignes 35-50; colonne 5, lignes 33-40; colonne 7, lignes 34-36 * ---	1,3	
A	US-A-3 569 756 (O. REIFENSCHWEILER) * Figure 1; colonne 2, lignes 7-11; colonne 2, lignes 30-32 * ---	2	
A	NL-A-7 707 357 (PHILIPS) * Figures 1,2; page 2, lignes 13-22; page 4, lignes 13-17; page 5, lignes 5-21 * -----	2,4	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
			H 01 J H 05 H
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 05-12-1989	Examineur FRITZ S.C.
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	