

12 **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

21 Numéro de dépôt: 89202465.4

51 Int. Cl.⁵: **H05H 3/06 , H01J 27/04**

22 Date de dépôt: 02.10.89

30 Priorité: 07.10.88 FR 8813187

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 Breannes 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: **Bernardet, 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 **Tube neutronique scellé équipé d'une source d'ions multicellulaire à confinement magnétique.**

EP 0 362 947 A1

57 Tube neutronique scellé contenant un mélange gazeux deutérium-tritium sous faible pression à partir duquel une source d'ions fournit un gaz ionisé canalisé par un champ magnétique de confinement des électrons créé par des aimants (8), ladite source émettant des faisceaux d'ions (3) qui traversent une électrode d'extraction-accélération (2) pour être projetés sur une cible (4) et y produire une réaction de fusion entraînant une émission de neutrons. Selon l'invention, la source d'ions est de type multi-cellulaire constituée de n cellules de type Penning comportant une anode multitrous (6) disposée à l'intérieur

de la cavité cathodique (7) afin d'accroître le courant d'ions. La forme et/ou les dimensions et/ou le positionnement de l'anode multitrous sont adaptés à la topologie du champ magnétique.

Application aux générateurs de neutrons.

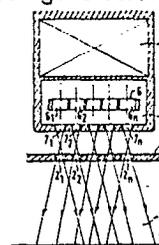


FIG. 3

TUBE NEUTRONIQUE SCELLE EQUIPE D'UNE SOURCE D'IONS MULTICELLULAIRE A CONFINEMENT MAGNETIQUE.

L'invention concerne un tube neutronique scellé contenant un mélange gazeux deutérium-tritium sous faible pression à partir duquel une source d'ions à deux électrodes (anode et cathode) forme un gaz ionisé canalisé par un champ magnétique de confinement créé par des aimants ou par tout autre moyen de création dudit champ, ladite source émettant à partir de canaux d'émission pratiqués dans ladite cathode des faisceaux d'ions qui traversent une électrode d'extraction-accélération et sont projetés à grande énergie sur une électrode cible pour 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 cou-

che 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 couches 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 la 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.

Dans un tube neutronique scellé, les ions sont en général fournis par une source d'ions de type Penning qui a l'avantage d'être robuste, d'être à cathode froide (d'où une longue durée d'utilisation), de donner des courants de décharge importants pour de faibles pressions (de l'ordre de 10 A/torr), d'avoir un rendement d'extraction élevé (de 20 à 40 %) et d'être de faibles dimensions.

Ce type de source présente par contre l'inconvénient de nécessiter un champ magnétique de l'ordre du millier de gauss, parallèle à l'axe de la chambre d'ionisation, introduisant une inhomogénéité transverse importante de densité de courant des ions à l'intérieur de la décharge et au niveau de l'extraction qui s'effectue suivant l'axe commun du champ et de la source.

Un autre inconvénient résulte du fait que les ions extraits et accélérés vers la cible vont réagir avec les molécules du gaz contenu dans le tube à une pression au premier ordre constante pour produire des effets d'ionisation, de dissociation et d'échange de charges entraînant d'une part une diminution de l'énergie 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 résultera des dépôts d'énergie qui vont accroître la température des matériaux des électrodes tels que le molybdène ou l'acier inoxydable. 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 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 dans le tube neutronique.

Le but de l'invention est de procurer un dispositif de source permettant de pallier lesdits inconvénients.

A cet effet l'invention est remarquable en ce que ladite source d'ions est de type multicellulaire constitué d'une structure de cellules élémentaires de type Penning comportant pour l'ensemble desdites cellules une cavité cathodique à l'intérieur de laquelle est disposée une anode multitrous, les axes desdits trous étant alignés respectivement sur les axes correspondants desdits canaux d'émission, le nombre desdits trous étant optimisé de façon à accroître le faisceau d'ions extrait pour un encombrement équivalent de ladite source d'ions, la forme et/ou les dimensions et/ou le positionnement desdits trous étant adaptés à la topologie dudit champ magnétique.

Il faut noter en outre qu'un gain complémentaire du courant de décharge peut résulter de l'accroissement de longueur de la structure de la source d'ions multicellulaire. Ce gain peut aller jusqu'à un facteur 2.

L'accroissement de courant résultant de la nouvelle configuration de source peut alors être utilisé pour diminuer la pression de fonctionnement du tube neutronique et limiter ainsi l'incidence nocive des réactions ions-gaz.

La faisabilité de la structure multicellulaire suppose qu'un champ magnétique est adapté au bon fonctionnement d'une structure Penning en particulier au niveau de la relation entre l'induction magnétique et le rayon de trou de l'anode multitrous.

La variation du champ magnétique en niveau et suivant la forme des lignes de force peut être corrigée par un accroissement dudit rayon, ce qui revient à faire des structures à rayon d'anode variable. De plus, une meilleure adaptation de la forme de l'anode aux lignes de force magnétiques peut être obtenue en remplaçant les structures cylindriques à section circulaire ou carrée par des structures tronconiques de façon à faire coïncider les génératrices de troncs de cône avec les lignes de force qui s'appuient sur les contours des trous.

L'émission des ions des différentes structures s'effectue à travers des canaux pratiqués dans la cathode faisant office d'électrode d'émission. Ces canaux, dont le nombre est identique à celui des cellules élémentaires, sont disposés respectivement suivant les mêmes axes de symétrie. Dans les cas de structures à section circulaire, le diamètre est fonction du champ électrique appliqué et de l'épaisseur de l'électrode.

Une variante de ce système consiste à intro-

duire en dessous des cathodes une chambre d'expansion afin d'uniformiser les densités au voisinage de l'émission qui se fait alors à travers des orifices dont la disposition peut être quasi indépendante de celle des cellules élémentaires.

Dans un tube neutronique de l'invention, l'électrode d'extraction-accélération peut être constituée par une électrode munie de n orifices ayant des axes correspondant respectivement à ceux des n cellules élémentaires, ou de j orifices inférieurs au nombre de n cellules élémentaires et donc des diamètres supérieurs à ceux des canaux d'émission et dont la disposition évite toute interception des faisceaux.

L'épaisseur de cette électrode d'extraction-accélération peut être augmentée afin d'améliorer la tenue mécanique et de permettre un refroidissement par circulation forcée de fluide.

La description suivante en regard des dessins annexés, le tout donné à titre d'exemple, fera bien comprendre comme 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 d'ions.

La figure 3 représente le schéma d'un tube neutronique de l'invention, muni d'une source d'ions multicellulaire de type Penning et d'une électrode d'extraction-accélération comportant autant d'orifices que de cellules.

La figure 4 représente un tube neutronique de l'invention muni d'une source d'ions multicellulaire et d'une électrode d'extraction-accélération comportant un nombre d'orifices différent du nombre de cellules.

La figure 5 représente une première variante du tube neutronique de l'invention, munie d'une source d'ions dont les trous d'anode sont de rayons variables.

La figure 6 représente une deuxième variante du tube neutronique de l'invention muni d'une source dont les trous d'anode sont de forme tronconique.

La figure 7 représente une troisième variante du tube neutronique de l'invention muni d'une source avec chambre d'expansion.

Les éléments identiques sur lesdites figures seront indiqués par les mêmes signes de référence.

Le schéma de la figure 1 montre les principaux éléments de base d'un tube neutronique scellé 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'extraction-accélération 2 entre lesquelles existe une différence de potentiel très élevée permettant l'extraction

et l'accélération 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 cavité 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 cavité 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. La forme de ce profil met en valeur le caractère inhomogène de ce faisceau dont la densité 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 hydrurable 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 3 un tube neutronique muni d'une source d'ions multicellulaire de type Penning constituée d'une cavité cathodique 7 et d'une anode multitrous 6, portée à un potentiel supérieur de 4 à 8 kV à celui de la cavité cathodique portée elle-même à une très haute tension de 250 kV par exemple.

L'aimant 8 fournit un champ magnétique de confinement du gaz ionisé de l'ordre du millier de gauss.

L'invention consiste à exploiter la propriété des structures de décharge multicellulaire avec confinement de type magnétique, à savoir que pour une même section d'anode, le courant de décharge ainsi que le courant du faisceau d'ions extraits de cette décharge sont respectivement supérieurs dans le cas d'une structure de source multicellulaire aux mêmes courants obtenus dans le cas d'une structure monocellulaire. De même il est plus avantageux d'utiliser une structure multicellulaire à n trous d'anode qu'une structure multicellulaire à m trous si $n > m$. Chaque section de la structure à n trous est alors plus réduite que chacune des sections de la structure à m trous ; mais l'avantage précité n'est assuré que si la section d'anode reste équivalente pour lesdites structures, ce qui permet de diminuer la pression du mélange gazeux et de ce fait, la probabilité des réactions ions-gaz.

On a ainsi constitué une nouvelle structure à n cellules comportant l'anode multitrous 6 ayant n trous $6_1, 6_2, \dots, 6_n$ et la cathode 7 dans laquelle on a pratiqué en vis-à-vis desdits trous anodiques les canaux d'émission $7_1, 7_2, \dots, 7_n$ à partir desquels n faisceaux ioniques sont extraits. Ces multifaisceaux 3 sont projetés sur la cible 4 au moyen de l'électrode d'extraction-accélération 2 comportant le même nombre d'orifices $2_1, 2_2, \dots, 2_n$ que celui desdits faisceaux et disposés suivant les mêmes axes..

Dans un autre dispositif de tube neutronique schématisé sur la figure 4 le nombre d'orifices pratiqué dans l'électrode d'extraction-accélération est moindre que celui des faisceaux issus de la source : par exemple chaque orifice 13 de cette électrode 2 livre passage à deux faisceaux de la source comme il est représenté sur la figure.

Dans une structure de source d'ions multicellulaire, la divergence des lignes de force du champ magnétique montre que celui-ci est très élevé dans la zone centrale et diminue progressivement jusqu'à une valeur très faible sur la périphérie. Pour compenser cette variation, les trous d'anode $6'_1, 6'_2, \dots, 6'_n$ sont constitués comme indiqué sur la figure 5 avec des rayons variables en sens inverse du champ magnétique de telle façon que le produit de l'induction magnétique par le rayon d'anode reste sensiblement constant. Cette disposition tend à uniformiser la densité de courant ionique.

Le dispositif représenté sur la figure 6 apporte une amélioration sensible par le fait que les trous d'anode $6''_1, 6''_2, \dots, 6''_n$ ont des formes tronconiques qui épousent approximativement les lignes de force du champ magnétique.

Sur la figure 7 une chambre d'expansion 14 est disposée en dessous des cathodes afin d'uniformi-

ser les densités ioniques. L'émission est effectuée par des orifices 15 dont le nombre peut être indépendant de celui des trous de l'anode multitrous.

Ainsi, l'augmentation du rapport de l'intensité du faisceau à la pression dans le tube neutronique, résultant de la structure de source multicellulaire de l'invention peut être exploitée de diverses manières :

- A parcours ionique identique, les créations de paires ions/électrons sur le trajet du faisceau d'ions sont moins nombreuses et l'énergie déposée dans la source d'ions par les électrons réaccélérés est moindre ; l'échauffement de la source d'ions est plus faible et par conséquent le dégazage des matériaux constitutifs est réduit. Les ions lourds résultant de ce dégazage sont moins nombreux et leur contribution à l'érosion de la cible plus faible. Par ailleurs l'énergie moyenne des ions deutérium-tritium est accrue, ce qui peut permettre de réduire le courant tube.

- A courant de faisceau identique, il est possible d'accroître les distances interélectrodes et de diminuer ainsi le champ électrique afin de réduire les phénomènes d'émission froide.

- A courant de faisceau intégré (sur l'unité de temps) identique, on peut accroître le courant maximal en mode pulsé dans le rapport des pressions P_{max}/P , P_{max} étant la pression maximale de fonctionnement n'entraînant pas un changement du régime de fonctionnement du tube (passage de la décharge en régime d'arc).

- En outre la répartition du courant sur la cible est beaucoup plus homogène en raison d'une part de l'homogénéité de la décharge au niveau des canaux d'émission et d'autre part de la multiplication du nombre de faisceaux élémentaires. Il en résulte une décroissance de la densité ionique maximale et à courant de faisceau identique un accroissement de durée de vie.

Revendications

1. Tube neutronique scellé contenant un mélange gazeux deutérium-tritium sous faible pression à partir duquel une source d'ions à deux électrodes (anode et cathode) forme un gaz ionisé canalisé par un champ magnétique de confinement créé par des aimants ou par tout autre moyen de création dudit champ, ladite source émettant à partir de canaux d'émission pratiqués dans ladite cathode des faisceaux d'ions qui traversent une électrode d'extraction-accélération et sont projetés à grande énergie sur une électrode cible pour y produire une réaction de fusion entraînant une émission de neutrons, caractérisé en ce que ladite source d'ions est de type multicellulaire constitué d'une structure de cellules élémentaires de type Penning compor-

tant pour l'ensemble desdites cellules une cavité cathodique à l'intérieur de laquelle est disposée une anode multitrous, les axes desdits trous étant alignés respectivement sur les axes correspondants desdits canaux d'émission, le nombre desdits trous étant optimisé de façon à accroître le faisceau d'ions extrait pour un encombrement équivalent de ladite source d'ions, la forme et/ou les dimensions et/ou le positionnement desdits trous étant adaptés à la topologie dudit champ magnétique.

2. Tube neutronique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le rayon desdits trous d'anode de ladite source d'ions est augmenté progressivement du centre vers la périphérie de la structure pour tenir compte de la topologie du champ magnétique.

3. Tube neutronique selon les revendications 1 et 2, caractérisé en ce que lesdits trous d'anode de ladite source d'ions sont de forme tronconique pour s'adapter à la topologie du champ magnétique.

4. Tube neutronique selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'une chambre d'expansion est disposée en dessous de ladite source d'ions afin d'uniformiser les densités au voisinage de l'émission des ions, celle-ci étant pratiquée dans la paroi de chambre située côté cible, à travers des orifices dont la disposition et le nombre peuvent être quasi-indépendants de ceux desdites cellules élémentaires.

5. Tube neutronique selon les revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ladite électrode d'extraction-accélération comporte un nombre d'orifices égal au nombre de trous d'anode et disposés respectivement suivant les axes desdits canaux d'émission.

6. Tube neutronique selon les revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ladite électrode d'extraction-accélération comporte un nombre d'orifices inférieur au nombre de trous d'anode, la disposition desdits orifices sur l'électrode d'extraction-accélération permettant d'éviter toute interception des faisceaux.

7. Tube neutronique selon les revendications 5 et 6, caractérisé en ce que l'épaisseur de ladite électrode d'extraction-accélération est augmentée afin d'améliorer la tenue mécanique et de permettre un refroidissement de l'électrode par circulation forcée de fluides.

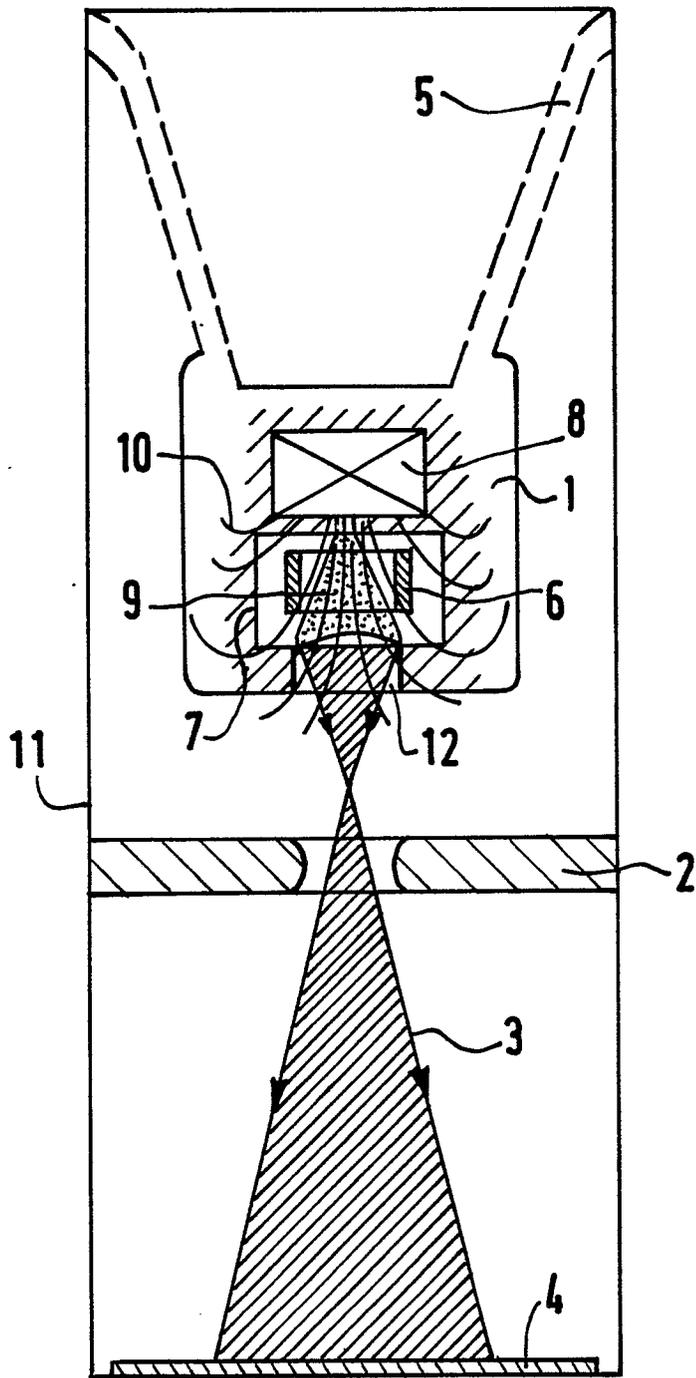


FIG.1

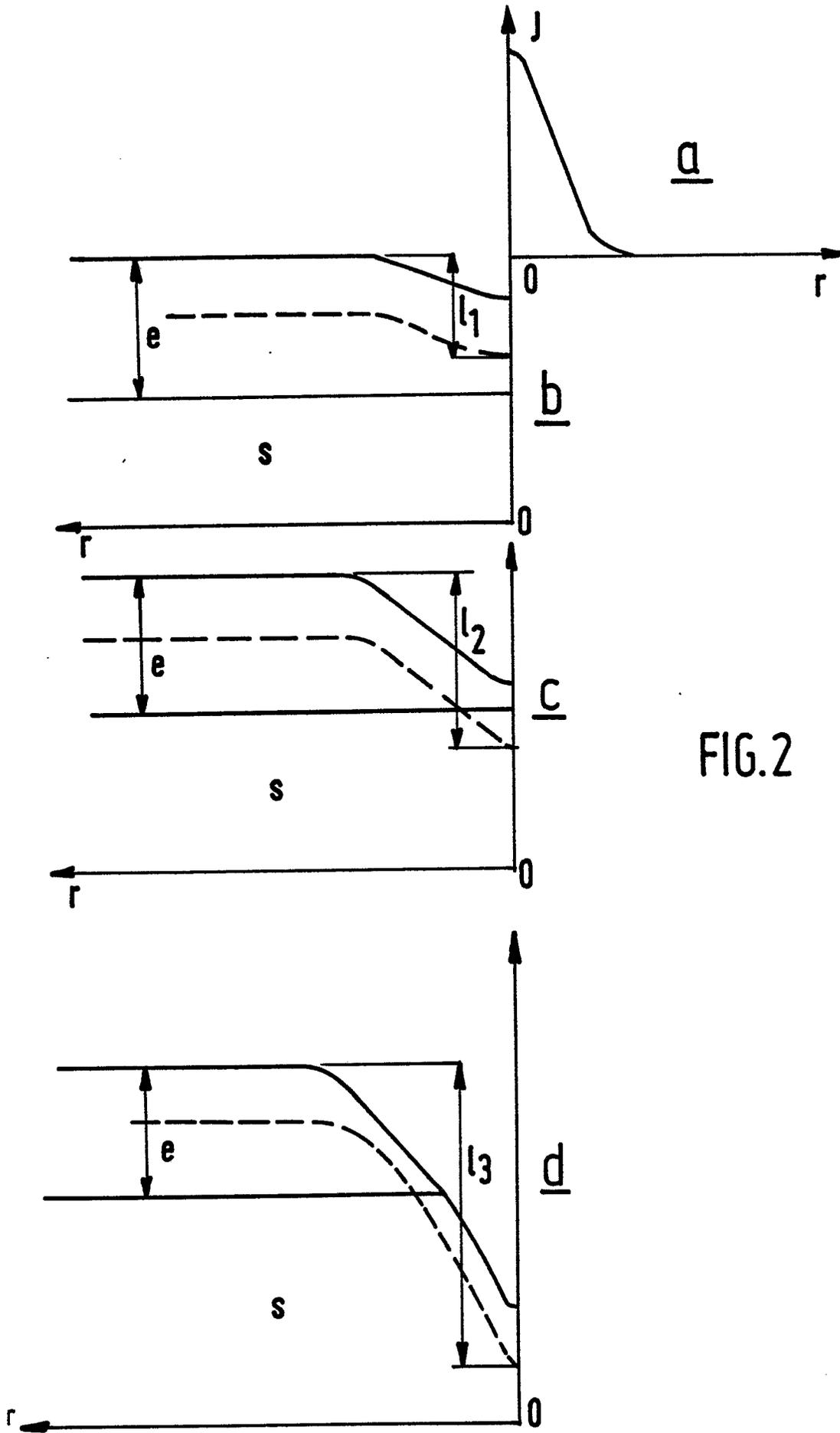


FIG.2

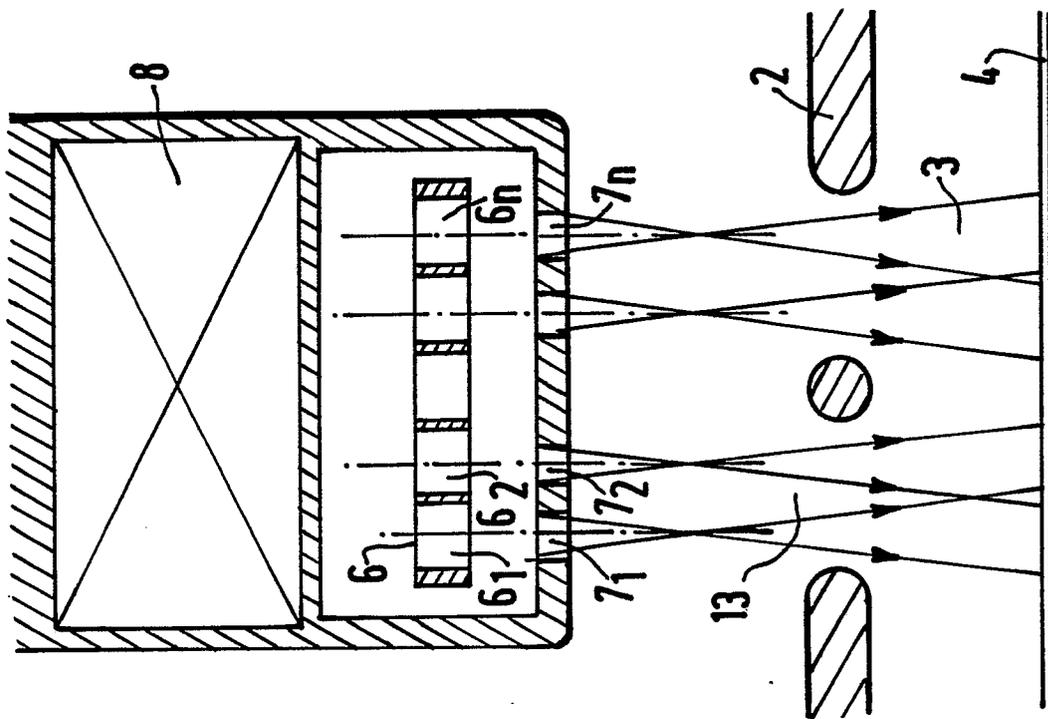


FIG. 4

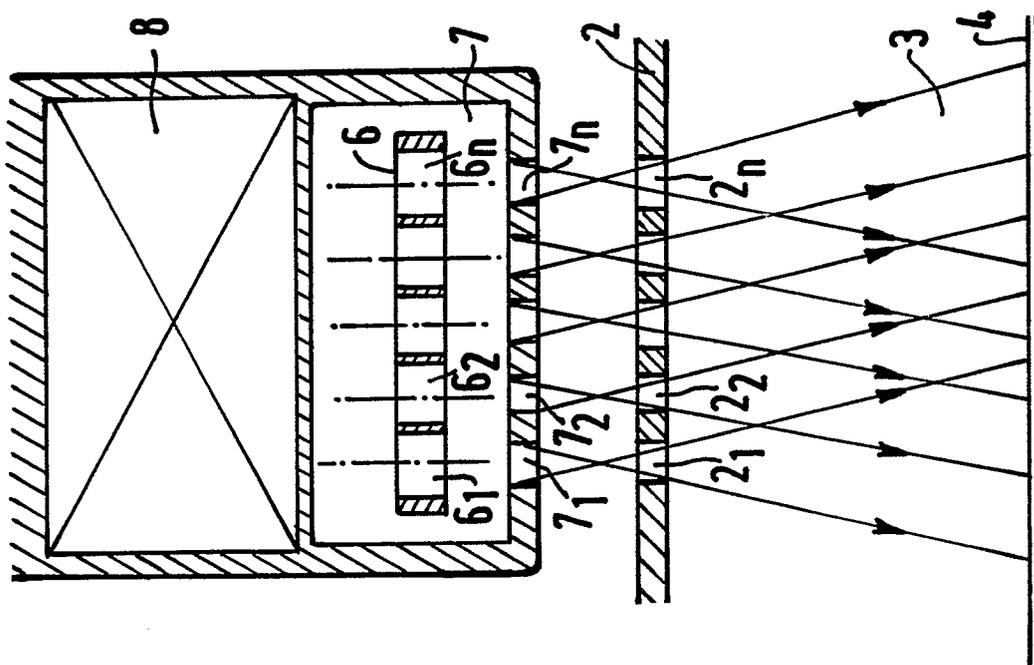
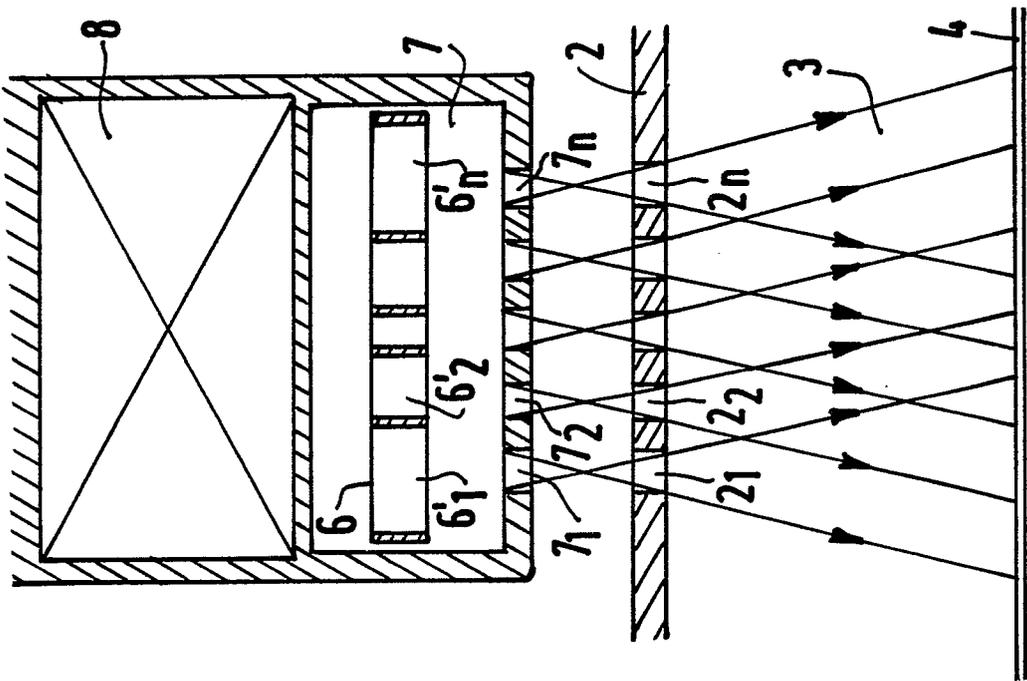
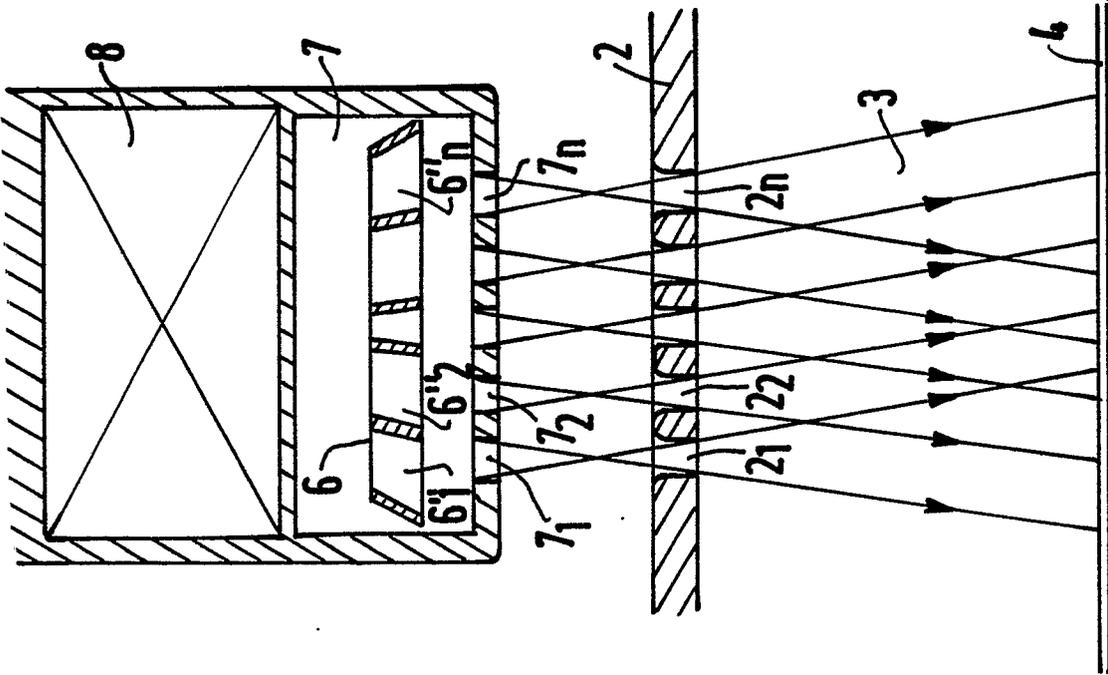


FIG. 3



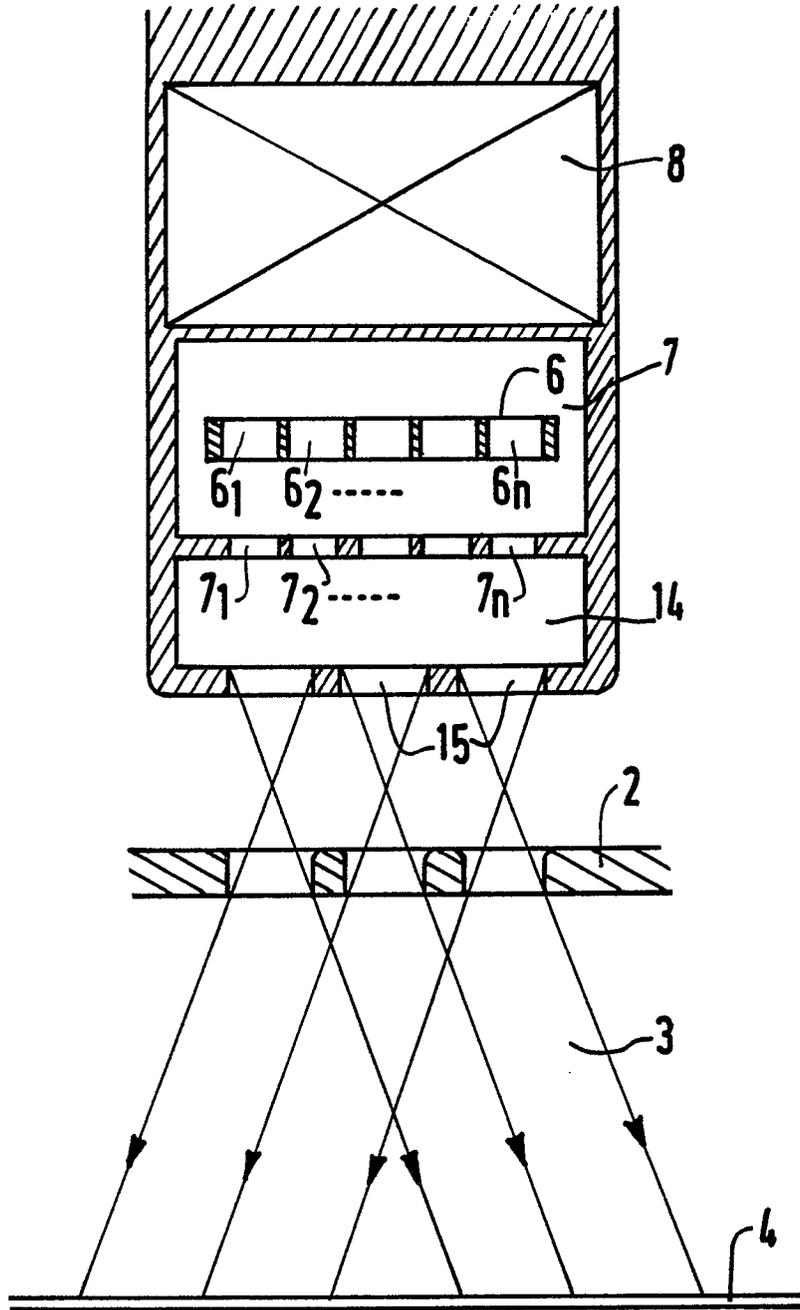


FIG.7



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	NL-A-7 707 357 (PHILIPS) * Figures 1,2; page 2, lignes 17-22; page 3, lignes 12-18; page 4, lignes 20-27; page 5, lignes 5-21 * ----	1,5	H 05 H 3/06 H 01 J 27/04
A	EP-A-0 036 665 (TOSHIBA) * Figures 8-12; page 1, lignes 9-10; page 13, lignes 13-29 * ----	1	
A	US-A-2 806 161 (J.S. FOSTER) * Figure 1; colonne 2, lignes 12-27; colonne 2, lignes 32-40; colonne 3, lignes 33-54; colonne 4, lignes 56-71 * ----	2,4	
A	REVUE DE PHYSIQUEAPPLIQUEE, vol. 12, no. 12, décembre 1977, pages 1835-1848; C. LEJEUNE et al.: "Multiduoplasmatron et multiduopigatron : sources de plasma uniforme pour la formation de faisceaux d'ions multiamperes" * Figure 10; pages 1842-1843, paragraphe 3.1.2, "Multiduopigatron: Paramètres de construction" * ----	4	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
A	US-A-4 447 773 (G. ASTON) * Figures 1,2; colonne 1, lignes 44-48; revendication 1 * ----	6	H 05 H H 01 J
A	LU-A- 46 217 (CEA) * Figures 1,2; page 5, ligne 30 - page 6, ligne 2 * ----	3	
A	GB-A-2 136 328 (MARCONI) * Figure 1; Résumé * -----	7	
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		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	
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			