



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt : **92403558.7**

(51) Int. Cl.⁵ : **H01J 3/02, H01J 1/30**

(22) Date de dépôt : **28.12.92**

La demande, qui était incomplète au moment du dépôt, est publiée telle quelle (article 93 (2) CBE). Le passage de la description ou des revendications qui comporte manifestement une omission est présenté comme tel.

Une requête en rectification page 10 de la description 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 : **31.12.91 FR 9116401**

(43) Date de publication de la demande : **07.07.93 Bulletin 93/27**

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

(71) Demandeur : **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE**
31-33, rue de la Fédération
F-75015 Paris (FR)

(72) Inventeur : **Leroux, Thierry**
11 rue Auguste Renoir
F-14123 IFS (FR)
 Inventeur : **Py, Christophe**
101 Cours Berriot
F-38000 Grenoble (FR)

(74) Mandataire : **Mongrédien, André et al**
c/o BREVATOME 25, rue de Ponthieu
F-75008 Paris (FR)

(54) **Système permettant de maîtriser la forme d'un faisceau de particules chargées.**

(57) **Système permettant de maîtriser la forme d'un faisceau de particules chargées.**

Le faisceau de particules est issu d'une source (58) de ces particules. Cette source est associée à une électrode collectrice qui collecte les particules. Le système comprend au moins une zone résistive (56) et au moins deux électrodes de commande (52, 54), cette zone résistive et ces électrodes de commande étant disposées sensiblement au même niveau que la source, ces électrodes de commande étant en outre placées de part et d'autre de la zone résistive et prévues pour polariser celle-ci, le profil de résistance électrique de la zone résistive étant choisi de façon à avoir la répartition de potentiel permettant d'obtenir la forme voulue du faisceau issu de la source lorsque les électrodes de commande sont convenablement polarisées.

Application à la focalisation d'un faisceau de particules chargées.

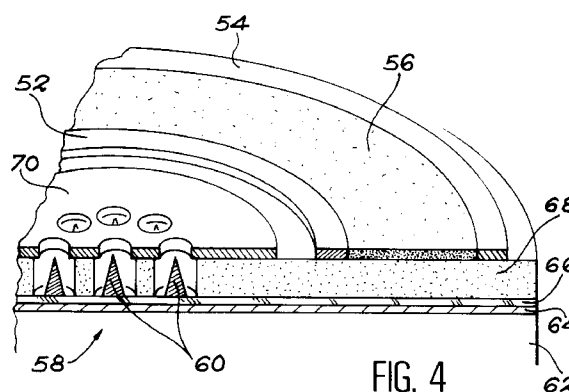


FIG. 4

La présente invention concerne un système permettant de contrôler, ou plus exactement de maîtriser, un faisceau de particules chargées, par exemple des électrons.

Ce système permet de maîtriser l'aspect, ou plus exactement la forme, du faisceau de particules chargées et, dans certains cas particuliers, de maîtriser également l'orientation de ce faisceau de particules chargées.

La présente invention s'applique notamment à la focalisation d'un faisceau d'électrons issu d'une source plane, en particulier d'une source à micropointes, ou d'un filament chauffant.

De plus, l'invention s'applique aussi bien aux canons à électrons pour tubes cathodiques qu'à des faisceaux balayés par excitation laser ou à des sources pour jauges à vide.

On connaît déjà des systèmes permettant de maîtriser la forme d'un faisceau de particules chargées.

C'est ainsi que dans la plupart des canons à électrons, une optique de focalisation (on dit aussi "refocalisation") est utilisée pour obtenir un faisceau de diamètre réduit ou dans lequel les électrons ont des trajectoires parallèles.

De nombreuses applications, par exemple le tube cathodique d'un écran de télévision, nécessitent en effet l'usage d'un pinceau électronique fin pour obtenir une image de résolution suffisante dans le cas de la télévision.

Dans d'autres cas, par exemple en photoémission inverse (voir les documents (1) et (2) qui, comme les autres documents cités par la suite, sont mentionnés à la fin de la présente description), les trajectoires des électrons doivent être parallèles de façon que tous les électrons aient le même vecteur vitesse, qui est un paramètre important de la mesure.

Enfin, dans certains cas, il peut être utile d'obtenir en un point précis un spot aussi petit que possible afin d'avoir localement une densité de courant importante.

Ceci est par exemple le cas d'un laser compact à semiconducteur, du type à pompage électronique.

Il existe plusieurs techniques pour focaliser un faisceau d'électrons.

Une première technique connue consiste à accélérer ce faisceau, ce qui diminue le moment angulaire relatif de chaque trajectoire des électrons.

Ceci peut être obtenu simplement au moyen d'une électrode connue sous le nom de Wehnelt qui fait face à la source d'électrons (c'est ce que l'on fait dans un tube cathodique classique de télévision) ou par un ensemble plus ou moins complexe de lentilles électrostatiques (voir le document (3)) obtenues par exemple en juxtaposant plusieurs électrodes cylindriques centrées sur le faisceau d'électrons.

Cette première technique est très souvent utilisée pour des électrons de forte énergie (comme ceux qui sont utilisés dans les tubes cathodiques classi-

ques) car les fonctions de focalisation et d'accélération sont dans ce cas réunies.

Une deuxième technique connue consiste à repousser, vers l'axe de propagation voulu pour les électrons, ceux qui divergent, c'est-à-dire qui s'écartent de cet axe.

C'est ainsi qu'il est connu d'utiliser, pour focaliser des faisceaux d'électrons provenant de sources naturellement divergentes, une électrode qui est appelée électrode de Pierce et qui est schématiquement représentée sur la figure 1.

On voit sur cette figure 1 une source électronique 2 qui émet des électrons en direction d'une électrode collectrice 4 (anode) qui est plane dans le cas de la figure 1.

L'axe de propagation souhaité pour les électrons porte la référence X et cet axe est perpendiculaire à l'anode 4.

En fait, la source 2 émet un faisceau d'électrons divergent 6 dont l'ouverture initiale (ouverture qu'aurait le faisceau en l'absence de refocalisation) porte la référence a sur la figure 1.

L'électrode de Pierce qui permet de focaliser ce faisceau divergent émis par la source 2 porte la référence 8.

Cette électrode 8, qui est portée à un potentiel réglable et négatif par rapport au niveau de potentiel auquel sont émis les électrons, a la forme d'un tronc de cône dont l'axe est l'axe X et dont le demi-angle au sommet vaut $67,5^\circ$ (de sorte que la trace de ce tronc de cône dans un plan contenant l'axe X fait, avec un plan perpendiculaire à cet axe X, un angle β qui vaut $22,5^\circ$).

De plus, l'électrode 8 engendre avec les électrodes 2 et 4 un champ électrique qui exerce sur chaque électron divergent une force f qui repousse, en direction de l'axe X, cet électron divergent.

On précise que le système représenté schématiquement sur la figure 1 peut comporter en outre une anode accélératrice non représentée qui joue le rôle classique d'un Wehnelt.

A propos des optiques de Pierce, on pourra se reporter aux documents (4), (5) et (6).

Cette deuxième technique connue présente divers avantages :

- elle ne nécessite pas l'utilisation de hautes tensions et, de ce fait, est préférable à la première technique connue lorsqu'on souhaite par exemple disposer d'électrons faiblement énergétiques,
- pour focaliser les électrons divergents, elle ne fait appel qu'à une cathode (électrode 8) et une anode et éventuellement un Wehnelt, et
- elle permet d'obtenir de très bons résultats pour la focalisation.

Cependant cette deuxième technique connue présente des inconvénients notamment dans le cas où l'on utilise des cathode émissives planes, en par-

ticulier des cathodes froides (voir les documents (7), (8) et (9)).

Un premier inconvénient est la difficulté de montage : la source d'électrons et le système de focalisation doivent être positionnés rigoureusement et maintenus l'un par rapport à l'autre, ce qui peut donner lieu à des montages complexes et fragiles.

Un deuxième inconvénient réside dans l'encombrement de ce système de focalisation qui peut être très important et qui compense défavorablement le faible encombrement des sources planes.

La présente invention a pour but de remédier à ces inconvénients en proposant un système permettant de maîtriser la forme d'un faisceau de particules chargées, ce système étant susceptible d'avoir un faible encombrement et d'être fabriqué par les techniques de la micro-électronique.

Ainsi, en particulier dans le cas d'une source à micro-pointes que l'on peut fabriquer par ces techniques de la micro-électronique, il est possible de réaliser en même temps que cette source le système objet de l'invention et d'intégrer ce dernier au substrat sur lequel cette source est déposée.

De cette manière il n'est plus nécessaire d'assembler mécaniquement la source et le système comme on le faisait dans la deuxième technique connue, mentionnée plus haut.

De façon précise, la présente invention a pour objet un système permettant de maîtriser la forme d'un faisceau de particules chargées, qui est issu d'une source de ces particules, cette source étant associée à une électrode collectrice prévue pour collecter ces particules, ce système étant caractérisé en ce qu'il comprend au moins une zone résistive et au moins deux électrodes de commande, cette zone résistive et ces électrodes de commande étant disposées sensiblement au même niveau que la source, ces électrodes de commande étant en outre placées de part et d'autre de la zone résistive et prévues pour polariser celle-ci, le profil de résistance électrique de la zone résistive étant choisi de façon à avoir la répartition de potentiel permettant d'obtenir la forme voulue du faisceau issu de la source lorsque les électrodes de commande sont convenablement polarisées.

La forme du faisceau de particules chargées est modifiée en fonction de l'application choisie pour ce faisceau et, en particulier, en fonction de la structure de l'électrode collectrice (qui dépend de cette application).

On précise que, dans la présente invention, cette électrode collectrice peut être plane ou, au contraire, non plane.

Le nombre et la forme des électrodes de commande ainsi que les potentiels électriques qu'on leur applique peuvent être déterminés expérimentalement en fonction de la forme que l'on veut donner au faisceau de particules, éventuellement à l'aide d'un logiciel de simulation.

On notera qu'il n'est possible de reconstituer le champ qu'impose une électrode de refocalisation non plane, par exemple du type électrode de Pierce, que si la répartition de potentiel dans un plan situé au niveau de la source est continûment variable. Un jeu d'électrodes distinctes ne permet d'obtenir que approximativement une telle répartition. Au contraire, la présente invention, qui utilise au moins une zone résistive, permet d'obtenir cette répartition continûment variable ou même une répartition continûment variable par parties.

Selon un mode de réalisation particulier du système objet de l'invention, ce système comprend une pluralité de zones résistives respectivement placées entre deux électrodes de commande, ces zones résistives étant alors séparées par au moins une électrode de commande.

Dans le cas où deux zones résistives sont séparées l'une de l'autre par deux électrodes de commande distinctes, on peut réaliser un profil de potentiel discontinu à l'endroit de ces électrodes. Dans le cas où deux zones résistives sont séparées par une seule électrode de commande, on peut réaliser un profil de potentiel continu mais non nécessairement monotone.

Selon un autre mode de réalisation particulier, les différentes zones résistives présentent des profils de résistance différents.

Selon un autre mode de réalisation particulier, chaque zone résistive comprend une pluralité de zones résistives élémentaires dont les résistances électriques respectives sont différentes les unes des autres et qui sont comprises entre deux électrodes de commande.

Dans ce dernier cas, les épaisseurs respectives de ces zones résistives élémentaires et/ou les résistivités respectives de ces zones résistives élémentaires et/ou les surfaces résistives respectives de ces zones résistives élémentaires à longueurs égales peuvent être différentes les unes des autres et choisies de façon à obtenir les résistances électriques voulues.

Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, la source comprend une grille d'extraction des particules et cette grille constitue l'une des électrodes de commande et est située au centre du système, chaque autre électrode de commande entourant la source.

Dans un autre mode de réalisation particulier, chaque électrode de commande entoure la source.

Au moins une électrode de commande qui entoure la source peut être discontinue et former une pluralité d'électrodes de commande élémentaires. Dans ce cas, en plus de la maîtrise de la forme du faisceau, le système permet en outre de maîtriser l'orientation de ce faisceau en utilisant des potentiels électriques convenables, comme on le verra par la suite.

Dans une autre réalisation particulière, la source

comprend une grille d'extraction des particules et a une forme allongée suivant une direction, la grille constitue l'une des électrodes de commande et est située au centre du système et le système comprend au moins une autre électrode de commande, de forme allongée suivant cette direction, située de chaque côté de la source et au moins une zone résistive qui s'étend entre la grille et l'autre électrode de commande de chaque côté de la source.

Dans une autre réalisation particulière, la source a une forme allongée suivant une direction et le système comprend au moins deux électrodes de commande, de forme allongée suivant cette direction, situées de chaque côté de la source, et au moins une couche résistive, placée entre les deux électrodes de chaque côté de la source.

Dans ces deux dernières réalisations particulières, le système permet aussi de maîtriser l'orientation du faisceau en plus de la forme de ce faisceau.

Par ailleurs, dans le cas d'une source de forme allongée le nombre d'électrodes et de couches résistives de chaque côté de la source n'est pas forcément le même.

Dans un mode de réalisation avantageux du système objet de l'invention, ce système est intégré à la source de particules chargées lorsque ladite source est une source plane.

Enfin, les électrodes de commande peuvent être planes et situées sensiblement dans le plan de cette source.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, est une vue schématique d'un système connu, permettant de focaliser un faisceau d'électrons divergents,
- la figure 2 est une vue schématique d'un système de focalisation utile pour la compréhension de l'invention et comportant des électrodes de commande en forme d'anneaux concentriques,
- la figure 3 est une vue schématique d'un autre système de focalisation utile pour la compréhension de l'invention et comportant des électrodes de commande de forme allongée,
- la figure 4 est une vue schématique d'un mode de réalisation particulier du système objet de l'invention, comportant une zone résistive comprise entre deux électrodes de commande,
- la figure 5 illustre schématiquement, à l'aide de graphiques, diverses façons de réaliser cette zone résistive,
- la figure 6 est une vue schématique d'un autre mode de réalisation particulier du système objet de l'invention, comportant d'autres électrodes de commande en plus des deux électrodes

entre lesquelles se trouve la zone résistive,

- la figure 7 illustre de façon schématique et partielle divers modes de réalisation particuliers du système objet de l'invention,
- la figure 8 illustre schématiquement divers modes de réalisation des couches résistives par dépôt avec électrodes enterrées ou non et pour des couches d'épaisseur homogène ou non,
- les figures 9 et 10 illustrent schématiquement et partiellement d'autres systèmes conformes à l'invention,
- la figure 11 représente la simulation de la focalisation d'un faisceau d'électrons provenant d'une source ponctuelle, au moyen d'un système de focalisation,
- la figure 12 représente la simulation de la focalisation en un point, d'un faisceau d'électrons provenant d'une source ponctuelle, à l'aide d'un autre système de focalisation, et
- la figure 13 représente la simulation de la déflexion et de la focalisation en un point simultanées d'un faisceau d'électrons issu d'une source ponctuelle, au moyen d'un autre système de focalisation comportant des électrodes de commande de forme allongée.

Sur la figure 2, on a représenté schématiquement un système qui est utile pour la compréhension de l'invention et qui permet de focaliser un faisceau d'électrons émis par une source électronique 10.

Cette source 10 est par exemple une source plane telle qu'une source à une micro-pointe 12 mais, dans d'autres réalisations, il pourrait y avoir bien entendu plusieurs micro-pointes.

La source peut donc être 12 mais, dire de surface émissive petite dev voir bien de refocalisation, ou au contraire

La source 10 correspond à la source 2 de la figure 1 et l'on voit encore sur la figure 2 l'axe X selon lequel on souhaite que le faisceau émis par la source se propage, ainsi que l'ouverture initiale a de ce faisceau d'électrons.

Ces électrons sont collectés par une anode 14 qui est encore plane dans l'exemple représenté sur la figure 2.

On cherche encore à focaliser le faisceau d'électrons en repoussant les électrons divergents en direction de l'axe X mais la force f qui repousse ces électrons vers l'axe X est obtenue grâce à des électrodes de commande 16 qui sont portées à des potentiels électriques appropriés.

Les électrodes de commande 16 remplacent donc l'électrode de Pierce 8 de la figure 1.

Cette électrode 8 est portée à un potentiel électrique V permettant d'engendrer un champ électrique qui repousse les électrons divergents vers l'axe X.

Les électrodes de commande 16 qui, dans l'exemple représenté, sont dans le plan de la source 10 et qui sont espacées les unes des autres, simulent

approximativement une répartition continue de potentiel électrique dans le plan de la source 10 et permettent de recréer approximativement la forme de l'équipotentielle V qui est imposée par l'électrode de Pierce 8 de la figure 1.

On obtient alors approximativement la même forme de champ électrique et donc le même effet sur le faisceau d'électrons qui est émis par la source et qui est initialement divergent.

On voit aussi sur la figure 2 des moyens de polarisation 18 qui permettent de porter les diverses électrodes de commande 16 à des potentiels électriques qui sont différents les uns des autres et qui sont négatifs par rapport au niveau de potentiel auquel sont émis les électrons.

On voit aussi sur la figure 2 les liaisons électriques 20 qui relient respectivement les électrodes de commande 16 aux moyens de polarisation 18.

Dans l'exemple représenté sur cette figure 2, la source d'électrons 10 comprend un substrat électriquement isolant 22, par exemple en verre, sur lequel est formée une couche de contact cathodique 24 par exemple en chrome.

Sur cette dernière est formée une couche résistive 26 par exemple en silicium.

Sur cette couche 26 est formée une couche électriquement isolante 28 par exemple en silice qui comporte un perçage dans lequel se trouve la micro-pointe 12 par exemple en molybdène, cette micro-pointe étant formée sur la couche résistive 26.

Au sujet d'une telle structure de source, on pourra se reporter au document (7).

La source 10 comprend aussi une grille d'extraction 30.

Des moyens de polarisation 19 sont prévus pour porter cette grille 30 à un potentiel permettant d'extraire les électrons de la micro-pointe 12.

Dans l'exemple représenté sur la figure 2, l'axe de la micro-pointe 12 est l'axe X et la grille d'extraction 30 a la forme d'un disque dont l'axe est également cet axe X et qui est percé en son centre pour laisser passer les électrons extraits de la micro-pointe 12.

Dans l'exemple représenté sur la figure 2, les électrodes de commande 16 sont des électrodes planes, en forme d'anneaux qui sont concentriques et qui ont l'axe X comme axe commun.

Ils sont ainsi centrés sur la source d'électrons.

Les électrodes de commande 16 sont formées, en même temps que la grille d'extraction 30, sur la couche isolante 28.

Ainsi le système qui est représenté sur la figure 2 est intégré à la source 10.

Sur la figure 3, on a représenté schématiquement un autre système qui est utile à la compréhension de l'invention et qui est destiné à focaliser un faisceau d'électrons émis par une source 32 plane et allongée.

Il s'agit d'une source à micro-pointes comportant une rangée de micro-pointes 34 qui sont alignées

(mais, dans d'autres réalisations, on pourrait avoir plusieurs rangées de telles micro-pointes).

La source représentée sur la figure 3 comprend un substrat isolant 36, par exemple en verre, sur lequel est formée une couche de contact cathodique 38, par exemple en chrome.

Sur cette dernière est formée une couche résistive 40 par exemple en silicium.

Sur cette couche résistive est formée une couche isolante 42 par exemple en silice.

Cette couche 42 comporte une rangée de trous dans lesquels se trouvent les micro-pointes 34 qui sont par exemple en molybdène et qui sont formées sur la couche résistive 40.

La source représentée sur la figure 3 comprend également une grille d'extraction 44 percée en regard des micro-pointes 34 et permettant d'extraire les électrons de ces micro-pointes 34.

Cette grille 44 a la forme d'une barrette qui s'étend suivant la direction d'alignement des micro-pointes 34, comme on le voit sur la figure 3.

Une anode 46, prévue pour collecter les électrons émis par les micro-pointes, est disposée en regard de la source 32.

Le système qui est représenté sur la figure 3, comprend aussi des électrodes de commande 48 qui s'étendent suivant la direction d'alignement des micro-pointes 34 et qui sont disposées de part et d'autre de la grille d'extraction 44.

Ces électrodes 48 sont formées en même temps que la grille d'extraction 44 sur la couche isolante 42.

Le système de la figure 3 est ainsi intégré à la source d'électrons 32.

Dans l'exemple représenté sur la figure 3, la structure formée par ce système et la source est symétrique par rapport à la rangée de micro-pointes 34 (il y a autant d'électrodes 48 d'un côté de la grille que de l'autre côté de cette grille).

On voit également sur la figure 3 des moyens de polarisation 49 prévus pour porter la grille 44 à un potentiel approprié, permettant l'extraction des électrons, et également des moyens de polarisation 50 prévus pour porter les électrodes de commande 48 à des potentiels indépendants, différents les uns des autres, permettant de créer un champ électrique qui cause la focalisation du faisceau d'électrons émis par la source 32.

Les systèmes qui ont été décrits en faisant référence aux figures 2 et 3 permettent de simuler approximativement une variation continue de potentiel électrique à l'aide de plusieurs électrodes de commande.

Cependant, ces systèmes ne permettent pas de reconstituer le champ obtenu par une électrode de refocalisation non plane. Aussi l'invention propose des systèmes utilisant au moins une zone résistive entre des électrodes de commande afin d'obtenir une répartition de potentiel déterminée, adaptée à la forme

voulue du faisceau de particules issu de la source.

On a représenté sur la figure 4 un mode de réalisation particulier du système objet de l'invention qui est plus simple et utilise seulement deux électrodes de commande 52 et 54 ainsi qu'une zone résistive 56 qui est comprise entre ces électrodes 52 et 54 et polarisée par ces dernières.

Le système représenté sur la figure 4 est prévu pour focaliser un faisceau d'électrons émis par une source d'électrons 58 qui, dans l'exemple représenté, est encore une source à micro-pointes 60.

Comme précédemment, cette source 58 comprend un substrat isolant 62 surmonté par une couche cathodique 64, elle-même surmontée par une couche résistive 66 sur laquelle sont formées les micro-pointes 60.

Une couche isolante 68 recouvre la couche 66 et comporte des trous dans lesquels se trouvent les micro-pointes 60.

Comme dans le cas de la figure 2, la source de la figure 4 est circulaire.

Elle comporte, sur la couche isolante 68, une grille 70 en forme de disque qui est percée en regard des micro-pointes 60.

Le système conforme à l'invention, qui est représenté sur la figure 4, est encore intégré à la source 58.

Les électrodes de commande 52 et 54 forment des anneaux concentriques dont l'axe est celui du disque formé par la grille d'extraction 70.

Ces électrodes 52 et 54 sont formées en même temps que cette grille 70, sur la couche isolante 68 après quoi la zone résistive 56, par exemple en silicium, est déposée sur la couche 68, entre les électrodes 52 et 54 tout en étant en contact avec ces électrodes 52 et 54.

La répartition du potentiel dépend du profil de résistance de la zone 56.

Une anode non représentée est prévue en regard de la source 58 pour collecter les électrons émis par les micro-pointes 60.

Des moyens de polarisation non représentés sont également prévus pour polariser la grille 70 de façon à extraire les électrons et pour polariser également les électrodes 52 et 54 de façon à focaliser le faisceau divergent émis par la source.

Il existe plusieurs solutions pour obtenir le profil de résistance électrique de la zone 56, qui permet la focalisation du faisceau d'électrons.

Ces diverses solutions sont illustrées par les parties A à F de la figure 5.

La partie A de la figure 5 est une vue en coupe des électrodes 52 et 54 et de la zone résistive 56 par un plan qui contient l'axe de la source.

La distance d d'un point à l'axe de cette source est repérée sur un axe parallèle à la coupe transversale que l'on voit sur cette partie A de la figure 5.

Dans l'exemple représenté sur cette dernière, on a supposé que la zone résistive 56 est formée de trois

tronçons adjacents de zones résistives élémentaires T1, T2 et T3 de longueurs respectives L1, L2 et L3 (qui sont comptées suivant l'axe représenté sur la partie B de la figure 5).

Les résistances électriques respectives de ces tronçons T1, T2 et T3 sont respectivement notées R1, R2 et R3.

Un exemple de profil de résistance électrique est montré sur le graphique de la partie B de la figure 5 où la résistance R1 du tronçon T1 (le plus proche de la source d'électrons) est inférieure à la résistance du tronçons T2, elle-même inférieure à la résistance du tronçon T3.

Il y a en fait trois solutions pour obtenir un tel profil de résistance électrique, du fait de la formule :

$$R = r \times L \times S^{-1}.$$

Cette formule est applicable à chaque tronçon en donnant aux paramètres R, r, L et S l'indice convenable (1 ou 2 ou 3).

Ces paramètres R, r, L et S représentant respectivement la résistance électrique, la résistivité du matériau utilisé, la longueur et la section de ce tronçon (la section S étant en fait une surface cylindrique dans l'exemple représenté).

Le graphique de la partie C de la figure 5 montre l'obtention du profil de résistance souhaité en donnant respectivement aux tronçons T1, T2 et T3 des épaisseurs e1, e2 et e3 telles que :

$$e1 > e2 > e3.$$

Dans l'exemple représenté, e1 est le double de e2 et e2 est le double de e3 (S1 est le double de S2 qui est le double de S3).

Le même profil de résistance électrique est obtenu, comme on le voit sur la partie D de la figure 5, en donnant respectivement aux tronçons T1, T2 et T3 des résistivités r1, r2 et r3 telles que :

$$r1 < r2 < r3.$$

Avec l'exemple que l'on a pris, r1 vaut la moitié de r2 et r2 vaut la moitié de r3.

De telles variations de résistivité sont obtenues en faisant varier de façon appropriée le dopage du matériau constitutif de la zone résistive 56 ou en utilisant, pour chaque tronçon, des matériaux différents.

La partie E de la figure 5, qui montre une partie de la zone résistive en vue de dessus, illustre le fait que l'on peut obtenir le même profil de résistance électrique en gravant par endroits la zone résistive d'épaisseur initialement homogène, de façon que la résistance du tronçon ainsi défini augmente en raison inverse de la surface résistive restante.

En reprenant l'exemple ci-dessus, à longueurs de tronçons égales, le tronçon T2 a une surface résistive deux fois moindre que le tronçon T1 et deux fois plus grande que le tronçon T3, de sorte qu'il est deux fois plus résistant que le tronçon T1 et deux fois moins résistant que le tronçon T3.

En fait, on remarquera que la partie E de la figure 5 s'applique en toute rigueur à une zone résistive

comprise entre deux électrodes de commande rectilignes, ce qui constitue un mode de réalisation particulier applicable à une source allongée du genre de celle de la figure 3 par exemple.

On peut cependant transposer l'exemple de la partie E de la figure 5 au cas de la figure 4 en remplaçant les tronçons restilignes par des tronçons de disques.

Le graphique de la partie F de la figure 5 montre la variation du potentiel V en fonction de l'éloignement d par rapport à la source d'électrons.

Le potentiel de l'électrode 52 est noté V1 et le potentiel de l'électrode 54 est noté V2.

Avec le profil de résistance représenté sur la partie B de la figure 5 et $V1 > V2$, on remarquera que le potentiel diminue de façon monotone lorsqu'on va du tronçon T1 jusqu'au tronçon T3.

Le système conforme à l'invention, qui est schématiquement représenté sur la figure 6, diffère du système qui est représenté sur la figure 3 par le fait qu'une zone résistive 72 est formée entre les deux électrodes de commande 48 qui sont situées d'un côté de la rangée de micro-pointes et qui sont les plus proches de ces micro-pointes, une zone résistive 72 étant également formée entre les deux électrodes de commande qui sont les plus proches de la rangée de micro-pointes mais placées de l'autre côté de cette dernière.

On a ainsi non seulement deux électrodes de commande entre lesquelles se trouve la zone résistive mais également d'autres électrodes de commande (qui sont portées à des potentiels électriques appropriés pour la focalisation du faisceau d'électrons).

Dans un autre mode de réalisation particulier non représenté, dérivé du système de la figure 2, la zone résistive est formée entre les deux électrodes concentriques qui sont les plus proches de la source d'électrons 10.

Le système objet de l'invention est utilisable pour d'autres applications que la focalisation d'un faisceau d'électrons.

Dans le cas où la source d'électrons est de dimensions réduites par rapport au système conforme à l'invention dont est munie cette source, il est possible d'obtenir, au lieu d'un faisceau d'électrons parallèle, un spot concentré ou refocalisé en un endroit précis.

Il est possible de pincer le faisceau à l'endroit voulu en réglant, de manière appropriée, les potentiels des électrodes de commande.

Dans le cas où l'on travaille avec un système conforme à l'invention, de forme allongée (cas de la figure 6), il est possible d'imposer des profils de potentiel électrique différents à deux ou plusieurs zones résistives situées de part et d'autre de la source d'électrons.

Le faisceau d'électrons subit alors une déviation en plus d'une focalisation.

On dispose ainsi d'un système permettant la déflexion d'un faisceau d'électrons.

L'intérêt des électrodes de commande que l'on voit sur les figures 4 et 6 réside dans le fait qu'elles peuvent être formées directement sur une cathode émissive.

On dispose ainsi d'une optique de focalisation qui est intégrée à la source d'électrons, qui peut être parfaitement positionnée par gravure et qui n'ajoute pas d'encombrement à celui, déjà faible, de la source.

On obtient donc un ensemble très compact qui, dans certains cas, permet de plus la déflexion du faisceau d'électrons.

On considère dans ce qui suit divers modes de réalisation particuliers de l'invention.

On a vu que l'invention permet de maîtriser un faisceau de particules chargées issu d'une source de ces particules (une source d'ions par exemple) en recréant les équipotentielles qu'on obtiendrait en utilisant une ou plusieurs électrodes de refocalisation non planes comme la cathode de Pierce. Ces cathodes non-planes sont jusqu'à présent les seules qui permettent de refocaliser rigoureusement des faisceaux de forme quelconque.

L'invention permet, notamment dans le cas de sources planes, de recréer le champ nécessaire à la maîtrise du faisceau émis, à l'aide d'un système qui peut être formé par des techniques de microélectronique.

Les sources planes dont on veut maîtriser les faisceaux peuvent être de forme quelconque, selon les possibilités de la technologie de fabrication de ces sources.

Les formes des systèmes permettant la maîtrise des faisceaux issus de ces sources peuvent être également quelconques.

Dans ce qui suit, on montre à titre d'exemple des modes de réalisation de l'invention pour des sources ponctuelles ou allongées, avec des systèmes de maîtrise de faisceaux respectivement concentriques ou allongés de part et d'autre des sources.

Pour obtenir une répartition de potentiel continuellement variable dans le plan de telles sources, on a vu que l'invention utilise au moins une zone résistive polarisée à ses extrémités par deux électrodes.

Celles-ci peuvent être visibles (voir la partie A de la figure 8 où les électrodes portent les références 74 et 76, où la zone résistive porte la référence 78 et où le substrat sur lequel cette zone et les électrodes sont formées porte la référence 79) ou bien ces électrodes peuvent être enterrées (voir la partie B de la figure 8).

Pour obtenir la répartition de potentiel souhaitée, on peut, comme on l'a vu précédemment, utiliser une ou plusieurs zones résistives éventuellement différentes formées respectivement par une ou plusieurs zones résistives élémentaires de résistivités différentes obtenues par des techniques diverses et/ou on peut utiliser une ou plusieurs zones résistives (sépa-

rées par une ou plusieurs électrodes de commande) de résistivités différentes ou identiques.

1) La technique qui consiste à former une ou plusieurs zones résistives séparées par des électrodes polarisées à des potentiels bien choisis est schématiquement illustrée par les parties A à F de la figure 7 ; les parties A, C et E sont relatives à des électrodes circulaires entourant une source 80 tandis que les parties B, D et F sont relatives à des électrodes rectilignes placées de part et d'autre d'une source rectiligne 82. La référence 81 représente le substrat sur lequel la source et les électrodes sont formées. Dans les figures présentées, les zones résistives sont disposées de façon symétrique de part et d'autre de la source mais il est également possible de mettre en oeuvre des moyens de maîtrise du faisceau dissymétriques.

On peut ainsi obtenir des profils de potentiel linéaires par parties.

Dans un premier mode de réalisation (parties A et B de la figure 7), on définit une seule zone résistive 84 polarisée par deux électrodes 86 et 88 (on notera que, pour la partie B, cette structure 84-86-88 est répétée de part et d'autre de la source 82).

Dans un deuxième mode de réalisation (parties C et D de la figure 7), on a représenté deux zones résistives 90a et 90b séparées par une électrode de polarisation 92, deux autres électrodes de polarisation 94 et 96 sont déposées de part et d'autre des zones résistives pour permettre finalement d'obtenir deux zones indépendantes où les gradients de potentiels peuvent être imposés indépendamment l'un de l'autre.

On notera que, pour la partie D, la structure 90a, 90b-92-94-96 est répétée de part et d'autre de la source 82.

En variante, on pourrait former deux zones 90a et 90b de résistances différentes, séparées par l'électrode 92 et encadrées par les électrodes 94 et 96.

On pourrait également avoir plusieurs zones résistives encadrées respectivement par des électrodes de commande distinctes des zones résistives avec les électrodes de commande associées à ces zones et des électrodes de commande non associées à des zones résistives.

Dans un troisième mode de réalisation (parties E et F de la figure 7), la source 80 ou 82 possède une grille d'extraction 98 ou 100.

Cette grille joue le rôle d'une électrode de polarisation qui peut comme représenté sur ces figures être associée à une zone résistive.

On peut également concevoir une combinaison des deuxième et troisième modes de réalisation.

2) La deuxième technique qui consiste à déposer entre deux électrodes une pluralité de zones résistives élémentaires de résistances différentes afin d'obtenir des profils de potentiels linéaires par parties et monotones est schématiquement illustrées par les

parties G, H et I, J de la figure 7 où apparaissent deux zones résistives élémentaires 84a et 84b de résistances différentes. Ces parties G, H, I, J sont respectivement les homologues des parties A, B, E, F de la figure 7, la zone 84 étant ici remplacée par les zones 84a et 84b.

Plusieurs façons de mettre en oeuvre cette deuxième technique sont possibles et ont en fait déjà été considérées dans la description de la figure 5 : pour obtenir des zones de résistances différentes, on peut

- a) déposer plusieurs matériaux de résistivités différentes (voir la partie D de la figure 5) ou un seul matériau dopé différemment dans chaque zone élémentaire,
- b) ou déposer une couche d'épaisseur homogène d'un seul matériau et en le gravant localement (voir la partie E de la figure 5),
- c) ou déposer plusieurs couches d'épaisseurs différentes d'un même matériau (voir la partie C de la figure 5),
- d) ou en combinant 2 ou 3 de ces façons.

Pour la façon de procéder indiquée au paragraphe c), il est possible de déposer indépendamment les unes des autres des couches d'épaisseur différentes (voir la partie C de la figure 8 où l'on voit deux couches 78a et 78b d'épaisseurs différentes) ou bien de former des surépaisseurs par recouvrement de couches (voir la partie D de la figure 8 où la couche 78c est recouverte par la couche 78d).

Dans certains modes de réalisation particuliers, l'invention permet à la fois de focaliser et de défléchir un faisceau issu d'une source.

Dans le cas d'une source d'ions de forme allongée (du genre de la figure 6), avec des zones résistives situées de part et d'autre de cette source, on défléchit le faisceau d'un côté en imposant un potentiel légèrement plus attractif pour les ions (c'est-à-dire plus élevé dans le cas des ions chargés négativement, moins élevé dans le cas des ions chargés positivement) à la zone résistive située de ce même côté.

Dans le cas d'une source entourée d'une ou plusieurs zones résistives (voir parties A et C de la figure 7), la déflexion peut être combinée à la refocalisation en morcelant la zone résistive par la division d'une électrode de commande en plusieurs électrodes de polarisation élémentaires imposant des profils de potentiels différents sur les différents côtés de cette zone.

Dans le cas de la figure 9, l'électrode de polarisation centrale 86 et les quatre électrodes de polarisation élémentaires périphériques 88a, 88b, 88c et 88d permettent de définir quatre zones résistives élémentaires.

La zone résistive élémentaire définie par l'électrode de polarisation centrale 86 et l'électrode de refocalisation 88b est ici le quart de la zone résistive 84.

On voit qu'en imposant grâce à l'électrode 88b un potentiel plus attractif pour les ions dans cette zone, on défléchit le faisceau du côté de cette électrode 88b.

Un mode de réalisation particulièrement avantageux de l'invention est représenté sur la figure 10.

Dans ce mode de réalisation, on cherche à maîtriser le faisceau d'électrons issu d'une source à micropointes à effet de champ selon le document (7) par exemple.

Sur un substrat 102 sont déposées les micropointes 104 au fond de trous 106 formés à travers la grille d'extraction 108 dans une couche isolante 110.

Les pointes 104 sont alimentées par les électrodes 112 à travers la couche résistive 114.

Autour de la zone délimitée par les bords 116 de la grille 108 et regroupant plusieurs micropointes, on peut déposer un système de maîtrise du faisceau conforme à l'invention, constitué de la couche résistive 118 au dessus de laquelle on dépose l'électrode de polarisation 120.

La grille d'extraction 108 joue dans ce cas le rôle d'électrode de polarisation centrale de la zone résistive.

Le contact de la grille d'extraction (non représenté) peut dans ce cas être facilement amené depuis la périphérie de la source grâce à l'empilement des couches et la différence de niveau entre les électrodes 108 et 120.

Pour réaliser un système conforme à l'invention, on peut utiliser des logiciels de simulation.

Chacune des figures 11 à 13 illustre une simulation de focalisation d'un faisceau d'électrons.

Par souci de simplification, on n'a pas représenté le détail des éléments constitutifs des moyens de maîtrise du faisceau d'électrons (électrodes de commande et zones résistives).

Dans chacune de ces figures, on a considéré une source à micro-pointes pourvue d'une grille d'extraction G.

La figure 11 correspond au cas d'une source ponctuelle ou très peu étendue par rapport aux dimensions de l'optique de refocalisation), c'est-à-dire qui utilise une ou quelques micro-pointes comme dans le cas de la figure 2.

Les moyens MF de maîtrise du faisceau (électrodes de commande et zones résistives) dans le cas de cette figure sont portés à des potentiels tels que les trajectoires des électrons soient parallèles entre elles.

Les figures 12 et 13 illustrent encore le cas d'une source à micro-pointes qui est ponctuelle ou très peu étendue et qui est munie d'un système de focalisation comportant des électrodes de commande.

Dans le cas de la figure 12, on applique aux électrodes de commande des potentiels tels que le faisceau se trouve focalisé en un point situé sur l'anode collectrice AC faisant face à la source. Dans le cas de la figure 13, on montre la possibilité de dévier ce fais-

ceau vers un autre point de l'anode sans perdre la propriété de focalisation.

On peut ainsi focaliser le faisceau émis par la source d'électrons.

Dans le cas de la figure 13, la source est du genre de celle de la figure 3, les électrodes de commande ayant ainsi une forme allongée.

DOCUMENTS CITES

- (1) G. Chauvet, R. Baptist, Journ. of Electr. Spec. and Rel. Phen. 24, 255 (1981).
- (2) Th. Fauster, F.J. Himpsel, J.J. Donelon and A. Marx, Rev. Sci. Instr. 54, 68 (1983).
- (3) P. Grivet. Optique électronique. Vol.I : Lentilles électrostatiques. (Bordas, Paris, 1955).
- (4) J. R. Pierce. Theory and Design of Electron Beams. (D. Van Norstand, New-York, 1954).
- (5) H.Z. Sar-El. Revised Theory of Pierce-type Electron Guns. Nucl. Instr and Meth.203 (1982) 21-33.
- (6) H.C. Lange. Entwicklung und Aufbau eines Spektrometers für inverse Photoemission mit variabler Photonenenergie. Freien Universität Berlin (1988).
- (7) Demande de brevet français n° 8715432 du 6 novembre 1987 - voir aussi US-A-4940916.
- (8) H. Gundel, H.Riege, J.Handerek and K. Zioutas. Low pressure hollow cathode switch triggered by a pulsed electron beam emitted from ferroelectrics. Appl. Phys. Letters, 54(21), 2971-3 (1989).
- (9) G.G.P. Van Gorkom and A.M.E. Hoeberechts. Silicon cold Cathodes. Philip Technical Review. Vol 43, n°3, Jan 1987.

Revendications

1. Système permettant de maîtriser la forme d'un faisceau de particules chargées, qui est issu d'une source (32, 70, 80, 82) de ces particules, cette source étant associée à une électrode collectrice prévue pour collecter ces particules, ce système étant caractérisé en ce qu'il comprend au moins une zone résistive (56; 72; 78; 78a, 78b; 78c, 78d; 84,; 84a, 84b; 90a, 90b; 118) et au moins deux électrodes de commande (48; 52, 54; 74, 76; 88; 86, 88a à 88b; 92, 94, 96; 88, 98; 88, 100; 108, 120), cette zone résistive et ces électrodes de commande étant disposées sensiblement au même niveau que la source, ces électrodes de commande étant en outre placées de part et d'autre de la zone résistive et prévues pour polariser celle-ci, le profil de résistivité électrique de la zone résistive étant choisi de façon à avoir la répartition de potentiel permettant d'obtenir la forme voulue du faisceau issu de la source lors-

que les électrodes de commande sont convenablement polarisées.

2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend une pluralité de zones résistives respectivement placées entre deux électrodes de commande, ces zones résistives étant alors séparées par au moins une électrode de commande. 5
3. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce que les différentes zones résistives présentent des profils de résistance différents. 10
4. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque zone résistive comprend une pluralité de zones résistives élémentaires (84a, 84b) dont les résistances électriques respectives sont différentes les unes des autres et qui sont comprises entre deux électrodes de commande (86, 88; 88, 98). 15 20
5. Système selon la revendication 4, caractérisé en ce que les épaisseurs respectives de ces zones résistives élémentaires sont différentes les unes des autres et choisies de façon à obtenir les résistances électriques voulues. 25
6. Système selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que les résistivités respectives de ces zones résistives élémentaires sont différentes les unes des autres et choisies de façon à obtenir les résistances électriques voulues. 30
7. Système selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que les surfaces résistives respectives de ces zones résistives élémentaires à longueurs égales sont différentes les unes des autres et choisies de façon à obtenir les résistances électriques voulues. 35 40
8. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que, la source comprenant une grille (98, 108) d'extraction des particules, cette grille constitue l'une des électrodes de commande et est située au centre du système, chaque autre électrode de commande (88, 120) entourant la source. 45 50
9. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que chaque électrode de commande entoure la source.
10. Système selon l'une quelconque des revendications 8 et 9, caractérisé en ce qu'au moins une électrode de commande qui entoure la source est discontinue et forme une pluralité d'électrodes de

commandes élémentaires (88a à 88d).

11. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que, la source comprenant une grille (100) d'extraction des particules et ayant une forme allongée suivant une direction, cette grille constitue l'une des électrodes de commande et est située au centre du système, et le système comprend au moins une autre électrode de commande (88), de forme allongée suivant cette direction, située de chaque côté de la source et au moins une zone résistive (84) qui s'étend entre la grille et l'autre électrode de commande de chaque côté de la source.
12. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que, la source (32, 82) ayant une forme allongée suivant une direction, le système comprend au moins deux électrodes de commande (48; 86, 88), de forme allongée suivant cette direction, situées de chaque côté de la source, et au moins une couche résistive (72; 84), placée entre les deux électrodes de chaque côté de la source.
13. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'il est intégré à la source de particules chargées, cette source étant une source plane.
14. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que les électrodes de commande sont planes et situées sensiblement dans le plan de la source.

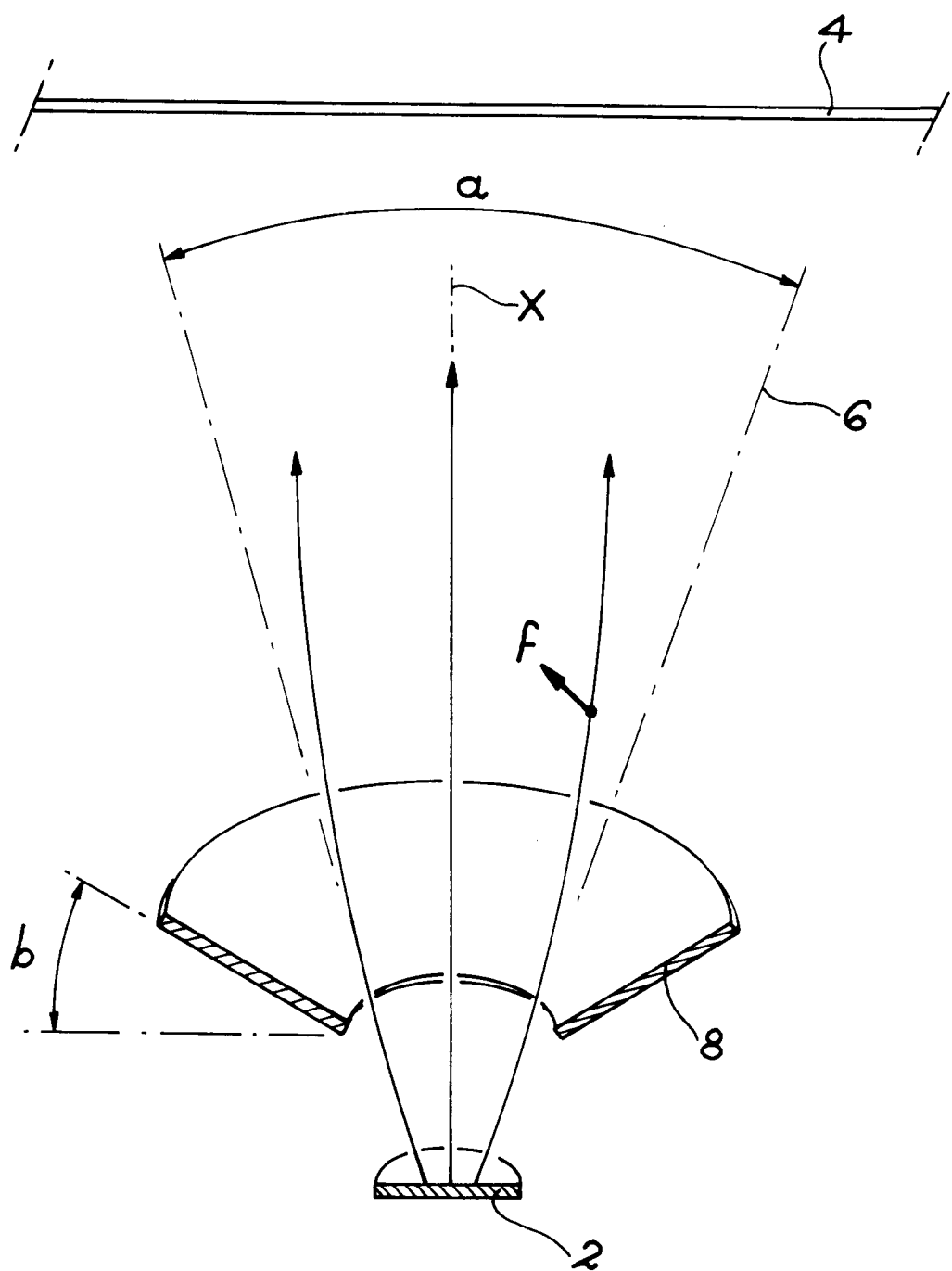
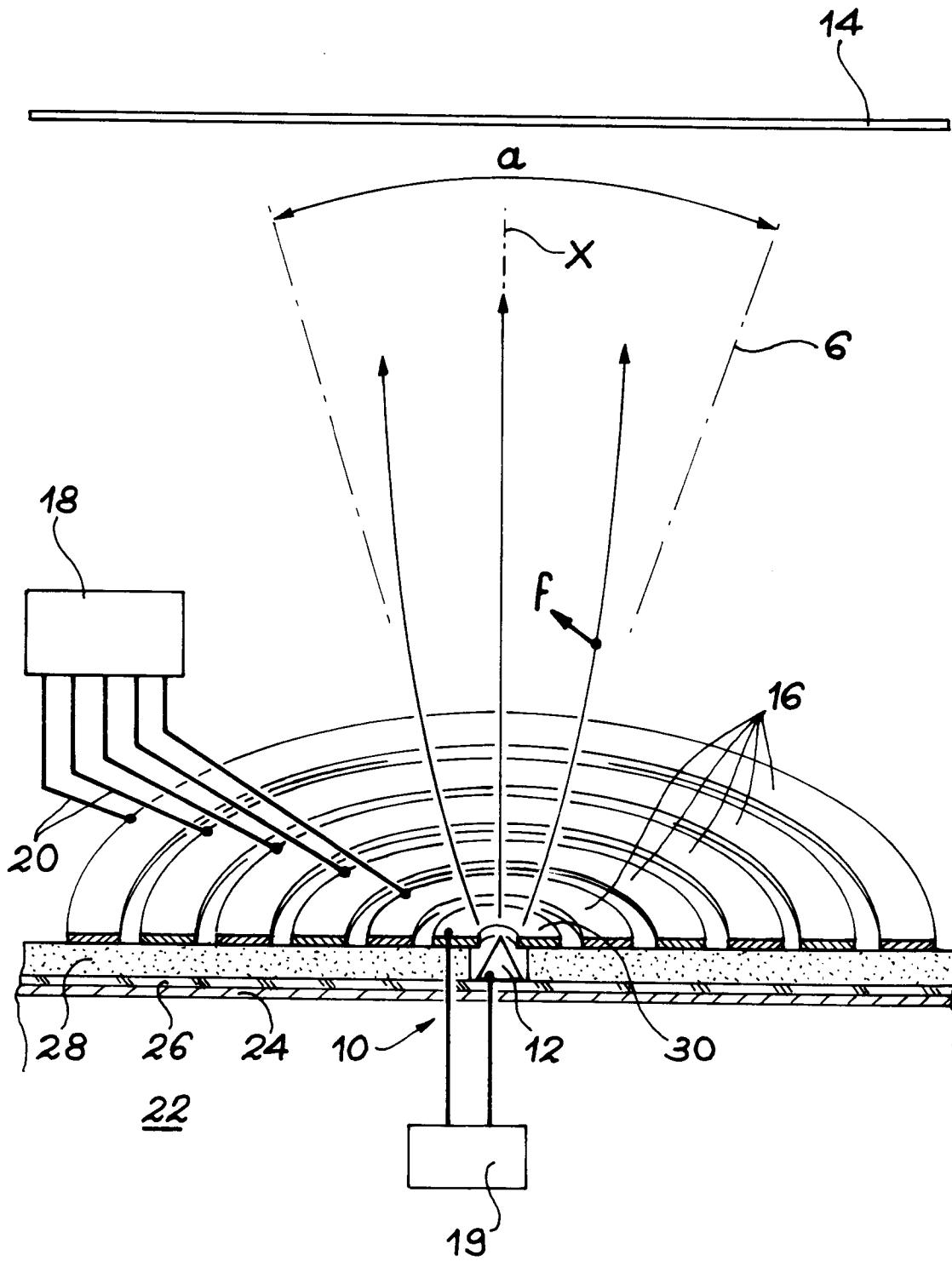


FIG. 1

FIG. 2



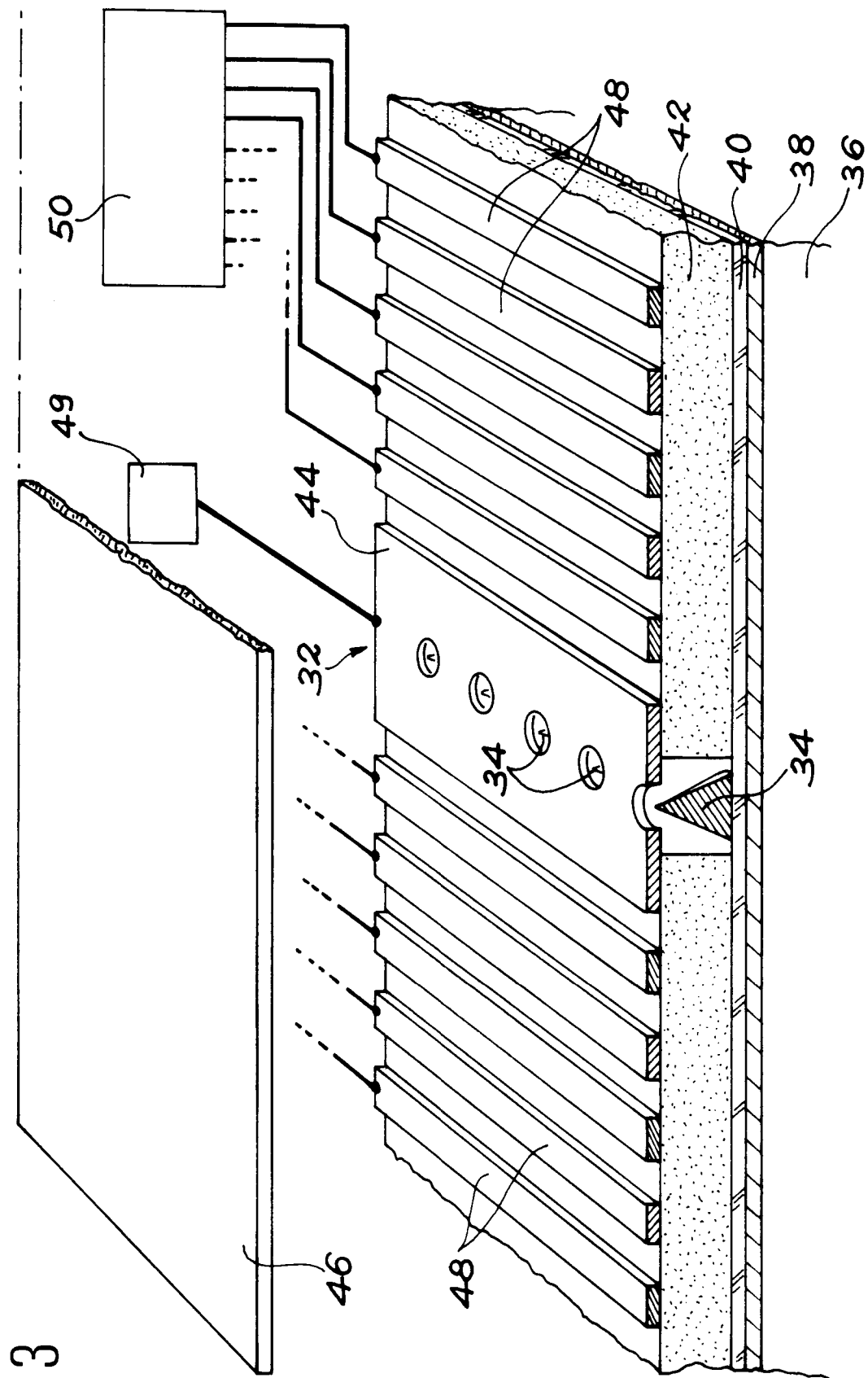


FIG. 3

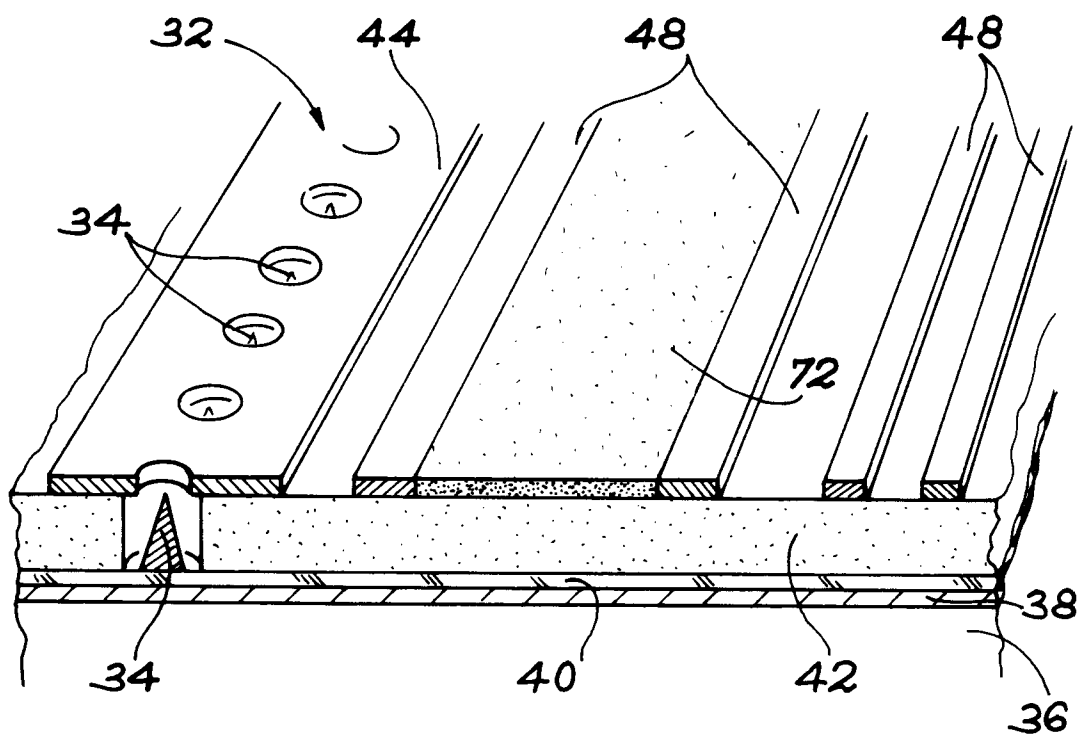
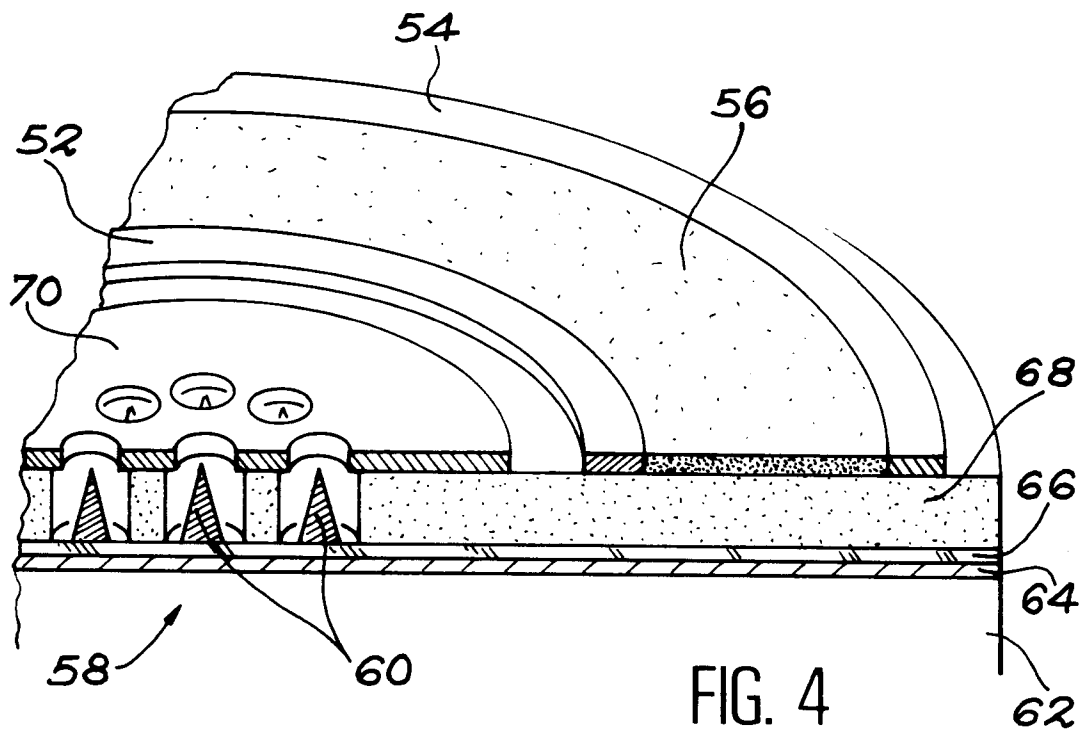
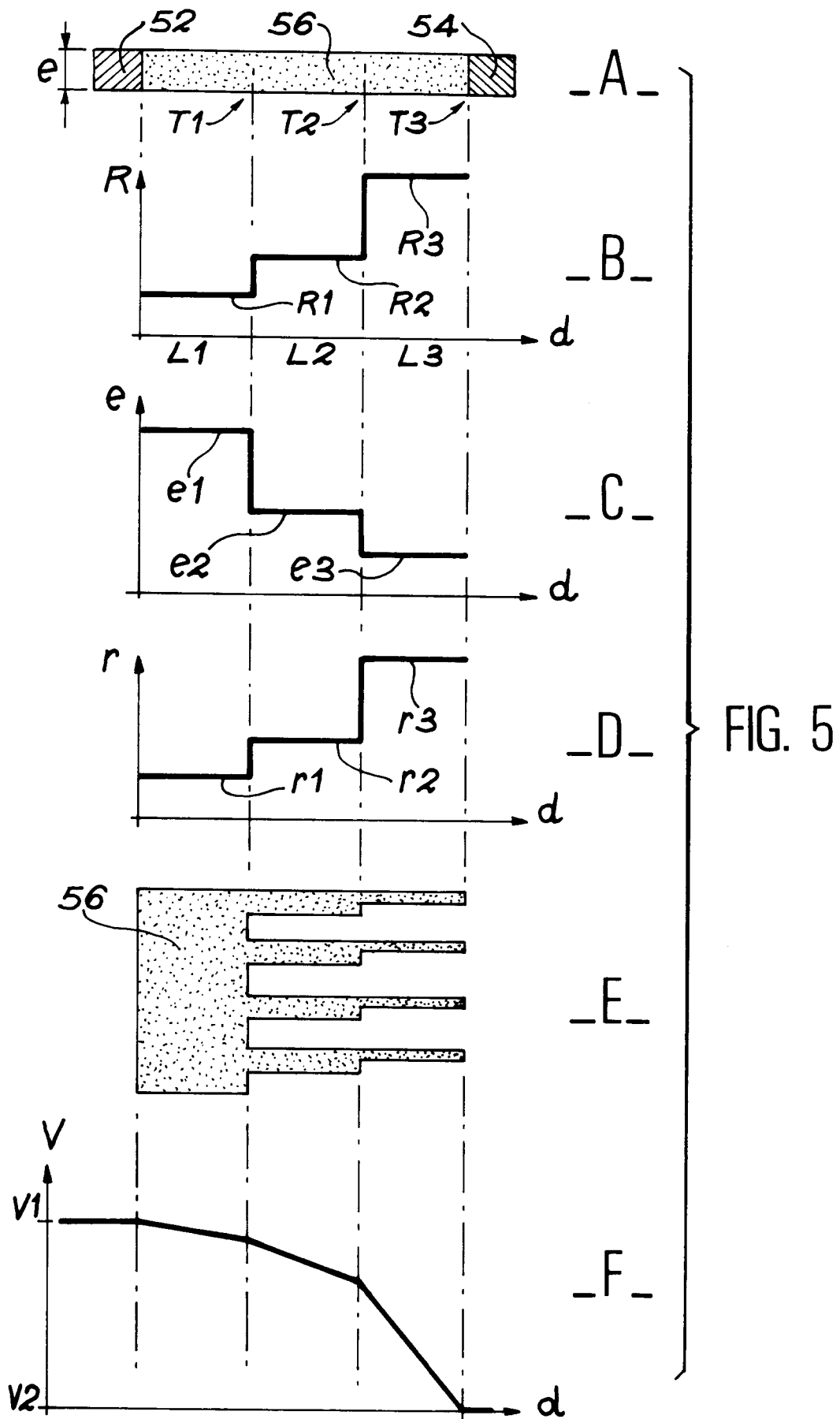
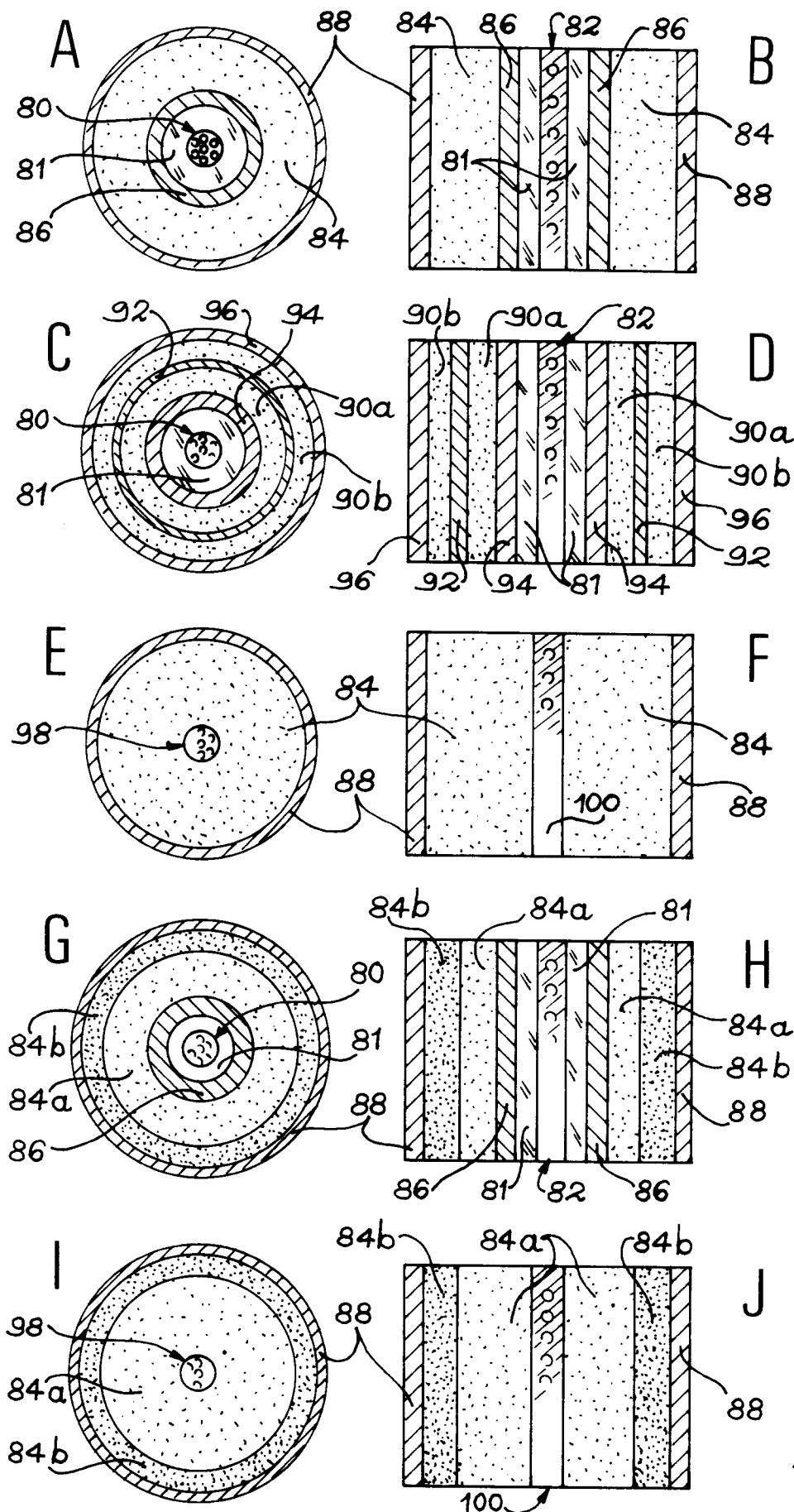
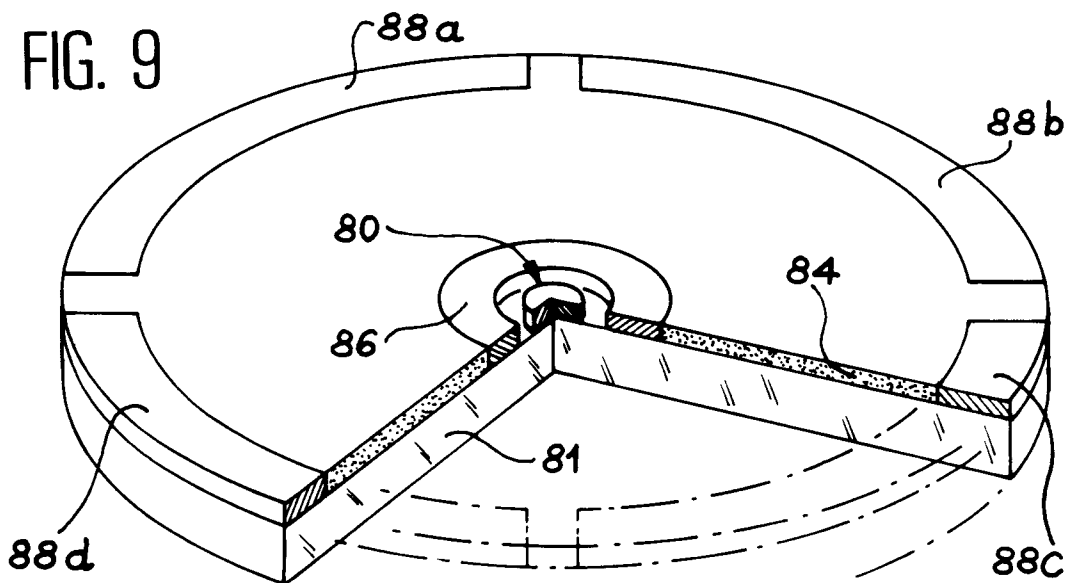
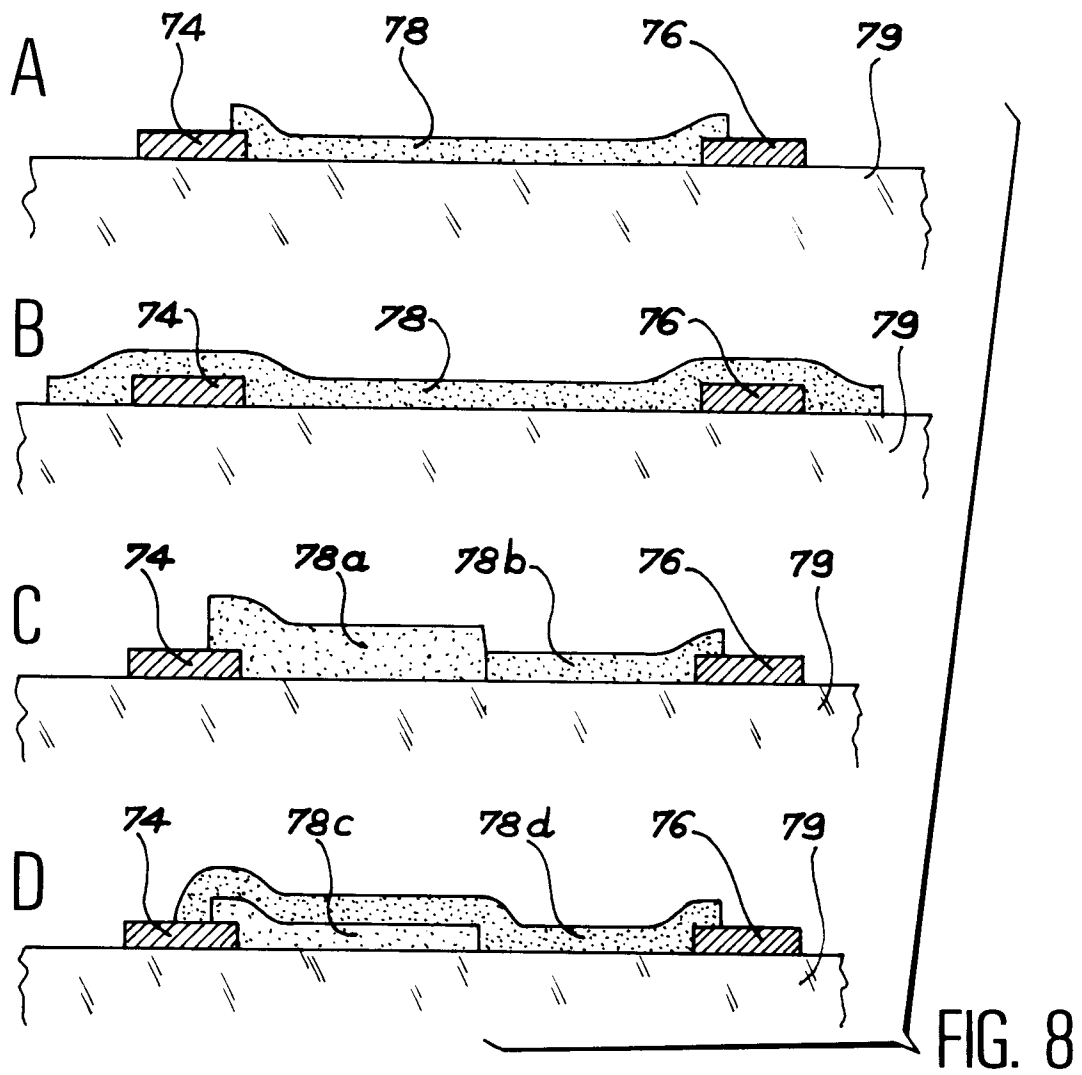


FIG. 6







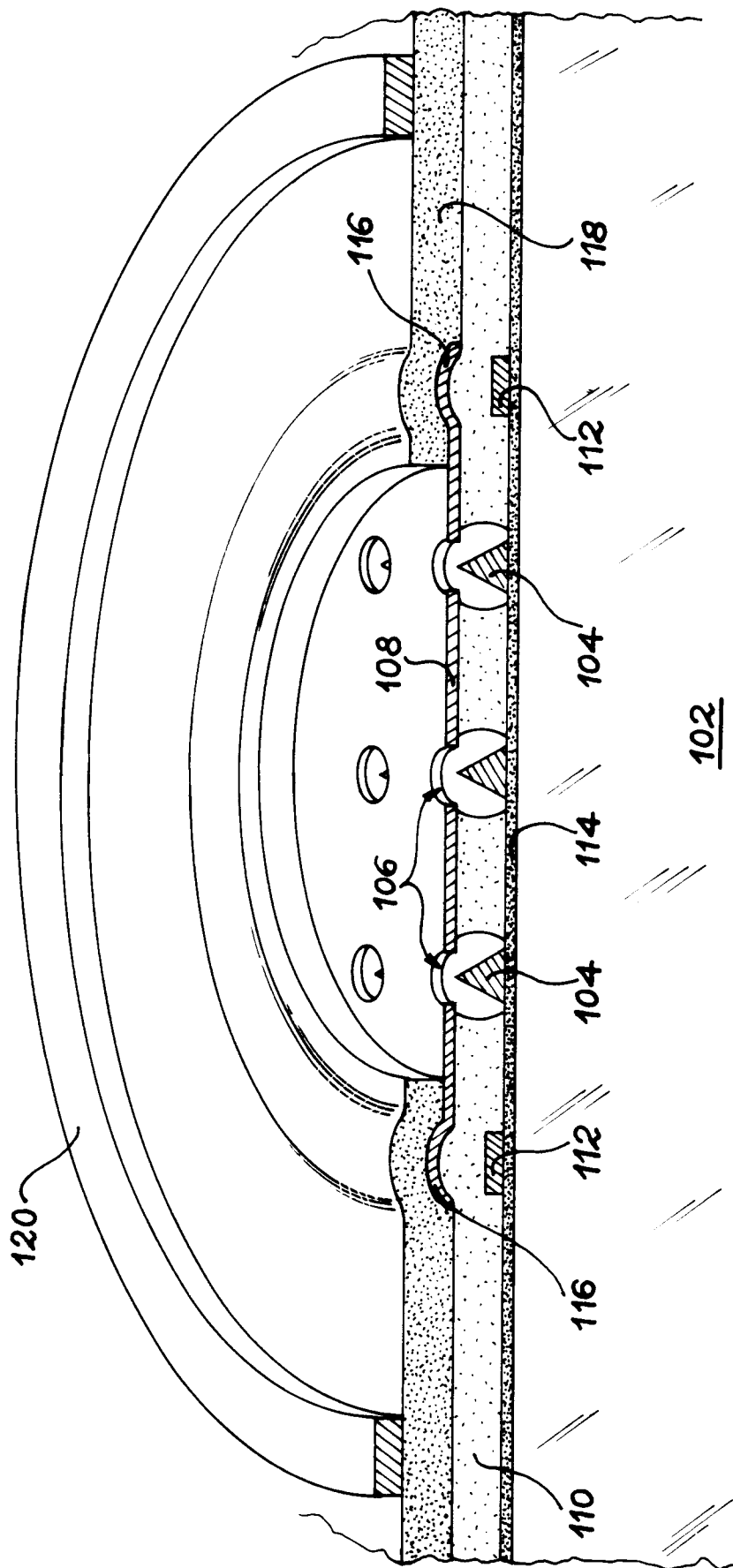


FIG. 10

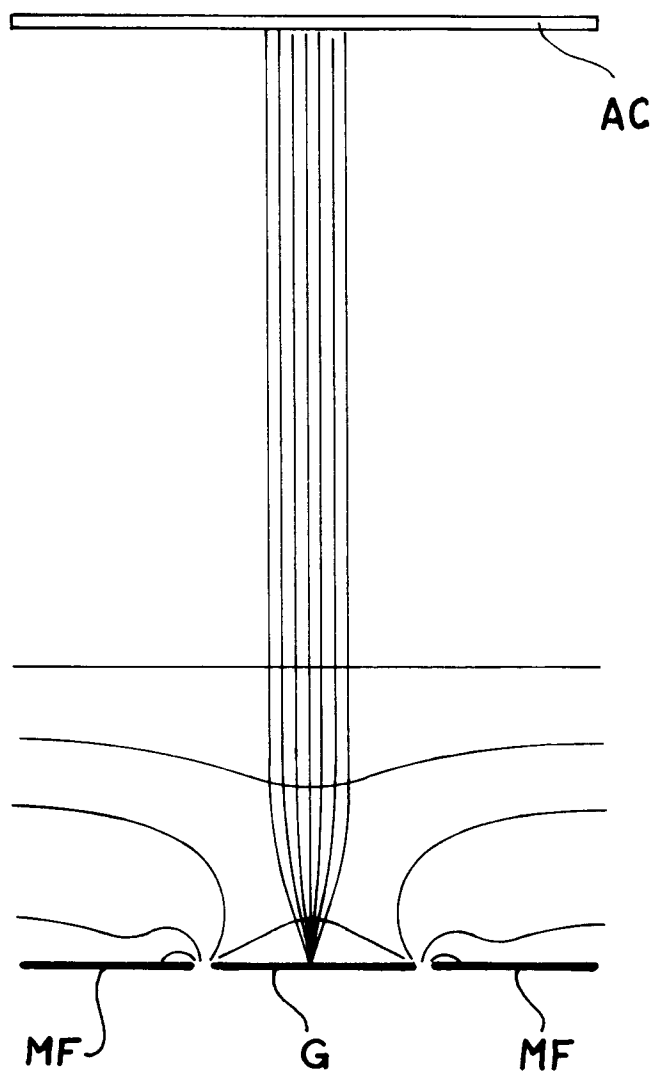
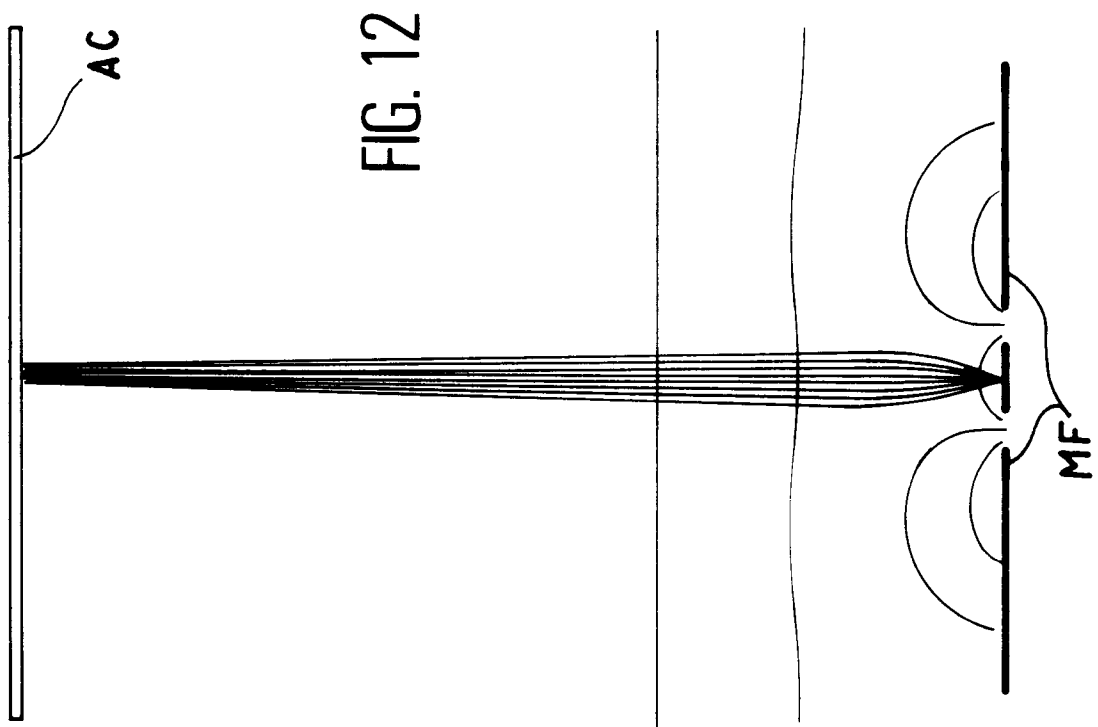
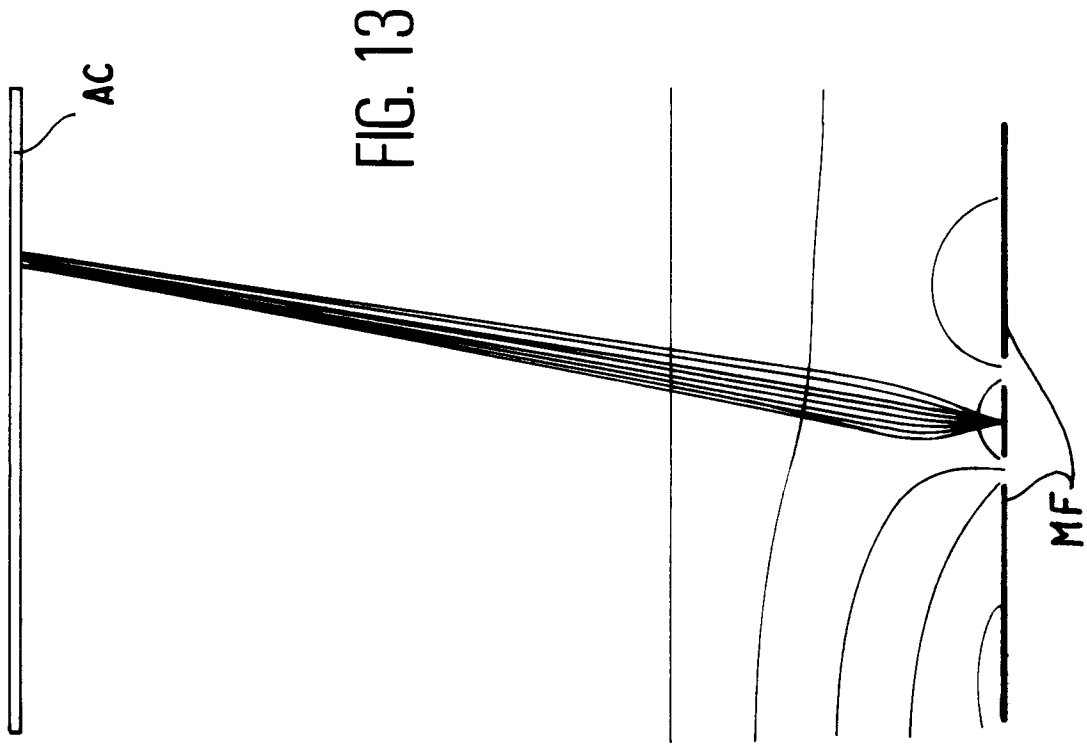


FIG. 11





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 92 40 3558

| 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 | EP-A-0 184 868 (NV. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN) * abrégé; figures 5-9 * * page 1, ligne 21 - page 2, ligne 3 * * page 4, ligne 21 - page 5, ligne 13 * * page 6, ligne 17 - ligne 23 * * page 9, ligne 26 - ligne 34 * * page 10, ligne 15 - page 11, ligne 13 * --- | 1,11-14 | H01J3/02 H01J1/30 |
| A | EP-A-0 395 158 (NV. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN) * abrégé; figures 1,2,7-9 * * colonne 3, ligne 1 - ligne 10 * * colonne 4, ligne 52 - colonne 5, ligne 8 * * colonne 7, ligne 36 - colonne 8, ligne 21 * --- | 1,8-10, 13,14 | |
| A | GB-A-2 054 959 (NV. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN) * page 5, ligne 71 - ligne 86 * * figure 1 * --- | 1 | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5) |
| A | DE-A-1 489 884 (HEIMANN) * page 1 - page 2 * * revendication 2 * --- | 1 | H01J |
| A | US-A-4 881 006 (HEDRICK) * colonne 3, ligne 38 - colonne 4, ligne 5 * * colonne 4, ligne 53 - ligne 66 * ----- | 1 | |
| Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications | | | |
| Lieu de la recherche LA HAYE | | Date d'achèvement de la recherche 09 MARS 1993 | Examineur COLVIN G.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 | |

EPO FORM 1503 03.82 (P0402)