

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 13.06.97.

③⑦ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 18.12.98 Bulletin 98/51.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ETABLISSEMENT DE CARACTERISTIQUES SCIENTIFIQUES ET
INDUSTRIELLES — FR.

⑦② Inventeur(s) : BAPTIST ROBERT.

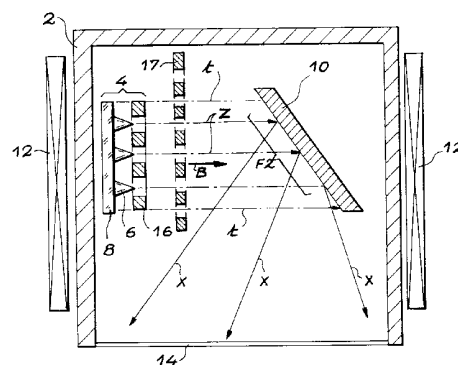
⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : BREVATOME.

⑤④ TUBE A RAYONS X COMPORTANT UNE SOURCE D'ELECTRONS A MICROPONTES ET DES MOYENS DE
FOCALISATIONS MAGNETIQUE.

⑤⑦ Tube à rayons X comportant une source d'électrons à
micropointes et des moyens de focalisation magnétique.

Ce tube à rayons X comprend au moins une source
d'électrons (4) à au moins une micropointe (6) et à grille
d'extraction (16), dont une zone émet des électrons, au
moins une anode (10) dont une zone émet des rayons X
sous l'impact de ces électrons, et des moyens (12) de foca-
lisation magnétique des électrons, aptes à créer un champ
magnétique homogène au moins dans le volume compris
entre les zones. Application à l'analyse par absorption de
rayons X ou par fluorescence X.



TUBE A RAYONS X COMPORTANT UNE SOURCE D'ELECTRONS A
MICROPOINTES ET DES MOYENS DE FOCALISATION MAGNETIQUE

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

5 La présente invention concerne un tube à rayons X comportant une source d'électrons à micropointes (« microtips »).

 L'invention s'applique notamment à l'analyse par absorption de rayons X au travers
10 d'objets minces ou de couches minces, par exemple pour faire des observations radiographiques d'objets minces avec une très bonne résolution dans la mesure où la source de rayons X (qui fait partie du tube et qui est le lieu d'où sont émis les rayons X) est extrêmement
15 bien définie c'est-à-dire a des bords francs et/ou une intensité contrôlée sur l'ensemble de la zone d'émission, cette zone d'émission pouvant être de petite taille ou au contraire très étendue.

 L'invention permet aussi de radiographier
20 des liquides circulant dans des canalisations enterrées de très petites dimensions et de faible épaisseur.

 Elle s'applique en outre au domaine médical et en particulier à la mammographie à partir d'une source ponctuelle de rayons X.

25 L'invention s'applique aussi à l'analyse par fluorescence X.

 Certes les rayons X de faible énergie ont des parcours de courte longueur. On peut néanmoins faire une analyse par fluorescence des éléments légers

(Ca, Mg, etc.) grâce aux rayons X « mous » générés dans un tube conforme à l'invention et ceci avec une grande précision spatiale, dans la mesure où la source de rayons X est extrêmement bien définie.

5 Dans le cas où la source d'électrons que comporte un tube conforme à l'invention se compose de plusieurs sources d'électrons séparées les unes des autres, il est possible, en excitant ces sources les unes après les autres, de faire une série de plusieurs
10 images afin d'observer un échantillon sous plusieurs angles.

L'épaisseur ou la forme de cet échantillon peuvent alors être connues avec davantage de précision qu'avec un tube à rayons X classique.

15 ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Le principe de la génération de rayons X dans un tube à rayons X classique est bien connu.

Il repose sur la production d'un rayonnement X lorsqu'un électron suffisamment
20 énergétique bombarde un atome de la cible du tube.

Dans un tube à rayons X classique, une différence de potentiel (égale à au moins 50 kV pour les tubes de haute énergie) est appliquée entre la cathode thermoionique (en général, un filament de
25 tungstène très chaud) et l'anode que comporte ce tube.

Le courant extrait du filament heurte l'anode (sur une surface plus ou moins bien définie en fonction des configurations et des moyens de focalisation dont est muni le tube), ce qui génère les
30 rayons X aux endroits de l'impact.

L'anode peut être portée à une haute tension et le filament à un potentiel proche de la masse ou l'anode peut être à la masse et le filament polarisé négativement.

5 Seule la différence de potentiel compte.

Le choix de la référence de potentiel est donc libre.

Dans le cas où l'anode est à la masse et le filament polarisé négativement, l'anode est plus
10 facilement refroidie (hydrauliquement) pour évacuer la chaleur dissipée par les électrons pénétrant dans le matériau de la cible (anode) puisque le potentiel de cette cible vaut 0V, c'est-à-dire est égal au potentiel de l'eau évacuée par des tuyaux.

15 Un tel tube X a une structure de diode.

Des tubes plus complexes peuvent comprendre, en plus de l'anode et du filament, une grille intermédiaire dont le rôle est indiqué ci-après.

Le filament étant chaud (et donc
20 susceptible d'émettre des électrons), le potentiel de la grille est suffisamment proche de celui du filament afin que le nuage d'électrons émis par le filament reste bloqué dans la zone comprise entre ce filament et la grille.

25 L'augmentation brusque du potentiel de cette grille permet au nuage d'électrons d'être extrait de cette zone et d'atteindre l'anode en traversant la grille.

Cette grille sert donc en quelque sorte de
30 « vanne à électrons ».

Elle ne doit pas être confondue avec la grille d'extraction que comportent les cathodes à micropointes et qui assure l'extraction des électrons

suivant un tout autre principe physique (l'effet de champ).

Dans d'autres tubes à rayons X connus, les électrons sont fournis par effet de champ grâce à
5 l'utilisation d'aiguilles pointues.

La configuration est alors celle d'une diode (le champ électrique résulte de la différence de potentiel qui existe entre l'anode et les aiguilles).

Toutefois, à cause de l'usure rapide de ces
10 aiguilles, ces autres tubes n'ont pas eu le succès escompté.

Dans les tubes à rayons X classiques, une certaine focalisation des électrons est en général assurée par une configuration appropriée de l'ensemble
15 anode-filament.

Les électrons partent d'une certaine zone de la cathode et atteignent l'anode sur une zone dont la surface est délimitée.

La configuration de l'ensemble anode-
20 cathode est définie au mieux en calculant les trajectoires des électrons dans la région située entre l'anode et la cathode au moyen des formules de l'optique électronique.

Cependant la forme des filaments (cathodes)
25 ne permet pas toujours d'avoir un impact de forme prédéterminée sur l'anode et par conséquent la source de rayons X, dont l'extension correspond à la zone d'impact des électrons, souffre de ce défaut.

On connaît aussi des canons à électrons
30 pour tubes à rayons X qui permettent une focalisation accrue des faisceaux d'électrons.

Dans ce cas, des spots X de taille réduite ou mieux définie sont générés.

Si l'on utilise, par exemple, le faisceau d'électrons d'un microscope électronique (de diamètre submicronique) et que l'on dirige ce faisceau vers une cible, on a l'équivalent d'un tube à rayons X à
5 microfoyer de forme circulaire.

Un tel microscope électronique utilisé en tant que tube à rayons X possède en général un canon à électrons muni de lentilles magnétiques et électrostatiques afin de concentrer le faisceau
10 d'électrons sur une zone réduite.

On connaît aussi les micropointes pour leur utilisation dans les écrans plats ou dans certains instruments tels que les jauges de pression.

Les cathodes à structure matricielle et de
15 grande surface qui utilisent des micropointes sont aussi connues et leur utilisation à l'intérieur des écrans plats en tant que sources d'électrons pour produire de la lumière visible par cathodoluminescence l'est également.

20 On sait également par la demande de brevet américain de Cha-Mei Tang et al, numéro de série 201,963, du 25 février 1994, qu'un tube à rayons X pourrait comporter une cathode à micropointes et des moyens de focalisation électrostatique qui sont
25 intégrés sur la cathode elle-même. Une telle structure ne permet pas d'obtenir une zone émissive étendue, bien délimitée avec une intensité contrôlée sur toute la zone.

Par ailleurs, les structures de tubes à
30 rayons X à filaments ne permettent pas de définir une forme quelconque de la source de rayons X c'est-à-dire la zone du tube d'où sont émis les rayons X, de façon précise et contrôlable.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de remédier à ces inconvénients.

Elle a pour objet un tube à rayons X
5 comprenant :

- au moins une source d'électrons dont une zone, appelée première zone, est destinée à émettre des électrons,
 - au moins une anode dont une zone, appelée deuxième
10 zone, est destinée à émettre des rayons X sous l'impact de ces électrons, et
 - des moyens de focalisation sur cette deuxième zone, des électrons émis par la première zone,
- ce tube à rayons X étant caractérisé en ce que la
15 source d'électrons est une source d'électrons à au moins une micropointe et à grille d'extraction et en ce que les moyens de focalisation sont des moyens de focalisation magnétique aptes à créer un champ magnétique qui est homogène (c'est-à-dire qui a une
20 direction et une intensité sensiblement constantes ou lentement variable spatialement) au moins dans le volume compris entre les première et deuxième zones, les caractéristiques vectorielles (intensité, direction) de ce champ étant telles que la deuxième
25 zone est homothétique de la première zone.

L'invention permet d'obtenir une source de rayonnement X (deuxième zone) ayant la forme, la répartition d'intensité (nombre de photons X émis par seconde et par unité de surface) ou l'uniformité
30 d'émission que l'on souhaite en choisissant judicieusement le champ magnétique (par exemple, parallèle à la direction moyenne de propagation des

électrons) et la forme de la cathode émissive (première zone).

Autrement dit la combinaison

- 5 - d'une part d'une source à micropointes dont la géométrie et la répartition des micropointes dans la source sont adaptées à la géométrie et à la répartition du rayonnement X recherché et,
 - d'autre part de moyens de focalisation magnétiques dont l'intensité et la direction sont adaptées à la reproduction homothétique (identique ou inférieure ou
10 supérieure) de la zone d'émission des électrons aussi bien spatialement qu'en intensité,
- permet d'obtenir un tube à rayons X parfaitement défini en intensité et en géométrie.

15 En particulier l'intensité obtenue peut être variable ou constante spatialement.

La direction du champ correspond à la droite passant par

- d'une part le centre de la zone émettrice d'électrons
20 et
- d'autre part le centre de la zone émettrice de rayons X.

Il est à noter que, pour avoir une reproduction de la zone émettrice d'électrons à l'identique sur l'anode, l'intensité du champ
25 magnétique doit être supérieure ou égale à un seuil au-delà duquel on a toujours un faisceau d'électrons dont les trajectoires sont parallèles.

Du fait qu'il utilise une micropointe ou
30 une pluralité de micropointes pour émettre des électrons, le tube à rayons X objet de l'invention présente notamment les avantages suivants par rapport à

un tube à rayons X classique utilisant un filament émetteur d'électrons :

- Il n'y a aucune pollution de l'anode par un matériau évaporé à partir d'une cathode chaude, donc il n'y a plus à « cacher » le filament par rapport à l'anode :
5 la cathode à micropointe(s) peut être installée en face de cette anode.
- La construction du tube est plus simple.
- La source d'électrons ne dégage aucune chaleur et
10 l'anode ne peut donc pas fondre, en tout cas à faible puissance.
- La cathode peut être pulsée (la durée des impulsions pouvant être largement inférieure à 1 μ s et même atteindre 100ps) et cette possibilité de pulser la
15 cathode s'accompagne d'une électronique extrêmement souple, n'affectant pas les circuits à haute tension.
- Le tube peut fonctionner avec une batterie.
- La zone irradiée par les électrons peut l'être de façon uniforme (ce qui n'est pas le cas avec un
20 filament) ; la source de rayons X est donc uniforme (ou a une uniformité contrôlée) et les bords d'une zone émissive de grande surface sont nets.
- Le nombre de connexions (passages électriques étanches au vide) reste faible par rapport à un tube
25 où la focalisation serait assurée par des électrodes supplémentaires.

Dans le tube à rayons X objet de l'invention, la source d'électrons peut comprendre une seule micropointe ou une pluralité de micropointes
30 suivant la géométrie et l'intensité souhaitées pour la zone émettrice de rayons X.

Selon une autre variante, le tube à rayons X comporte une pluralité de sources d'électrons, une zone émettrice de rayons X correspondant à chaque source d'électrons.

5 Le tube objet de l'invention peut comprendre une seule anode ou une pluralité d'anodes, chaque anode étant alors associée à au moins une micropointe.

10 La source d'électrons peut être pulsée de manière à obtenir des impulsions de rayons X.

15 Le tube à rayons X objet de l'invention peut comprendre en outre une grille électriquement conductrice qui est disposée entre la source d'électrons et chaque anode, cette grille étant polarisée de manière à empêcher des ions d'atteindre la source d'électrons et à éviter la formation d'arcs électriques entre cette source d'électrons et chaque anode.

20 Les moyens de focalisation magnétique du tube objet de l'invention peuvent comprendre un aimant ou des bobines de Helmholtz ou à la fois un aimant et des bobines de Helmholtz.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

25 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 :

- 30 • la figure 1 est une vue schématique d'un mode de réalisation particulier du tube à rayons X objet

de l'invention, dans lequel la source d'électrons ne comprend qu'une seule micropointe,

- la figure 2 est une vue schématique d'un autre mode de réalisation particulier dans lequel la source d'électrons comprend une pluralité de micropointes,
- la figure 3 est une vue schématique d'un autre mode de réalisation particulier dans lequel il y a une pluralité d'anodes,
- la figure 4 est une vue schématique d'un autre mode de réalisation particulier dans lequel l'anode est formée sur la fenêtre du tube, et
- la figure 5 illustre schématiquement des moyens de régulation de la source d'électrons d'un tube à rayons X conforme à l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Dans l'invention, pour focaliser le faisceau d'électrons émis par la source d'électrons à micropointe(s) et diriger ce faisceau à un endroit déterminé, on utilise un champ magnétique dont l'intensité peut aller de quelques centièmes de tesla à quelques dixièmes de tesla par exemple, ce champ magnétique étant, dans le cas d'une reproduction à l'identique de la zone émettrice d'électrons, parallèle à la trajectoire médiane du faisceau d'électrons.

Dans le reste de la description on considère par souci de simplification le cas d'un champ parallèle.

Bien entendu l'insertion peut utiliser un champ divergent ou convergent pour reproduire de façon agrandie ou rétrécie ladite zone émettrice d'électrons.

On sait alors que les trajectoires des électrons s'enroulent autour de la direction du champ magnétique avec un rayon dont la valeur est inversement proportionnelle à l'intensité de ce champ magnétique.

5 Les trajectoires moyennes des électrons sont alors sensiblement parallèles et ne divergent pratiquement pas.

La zone appelée « spot » dans laquelle le faisceau d'électrons rencontre l'anode est alors
10 identique à la zone de la source qui émet les électrons si l'on suppose que l'anode est placée perpendiculairement au faisceau d'électrons.

On reproduit ainsi sur l'anode la forme de la zone émissive de la source d'électrons (cathode) et
15 la source de rayons X a donc rigoureusement cette même forme.

La densité d'émission des rayons X dépend de la densité du courant incident qui dépend elle-même de la densité des micropointes sur la cathode et du
20 courant émis par chaque micropointe.

Une lentille magnétique plus complexe peut éventuellement concentrer davantage le faisceau d'électrons au lieu d'empêcher simplement la divergence de celui-ci.

25 Dans ce cas le « spot » formé sur l'anode peut avoir une taille encore plus réduite.

Dans les exemples décrits plus loin la zone qui émet les rayons X a une forme homothétique de celle de la zone qui émet les électrons si l'on ne tient pas
30 compte de l'angle d'incidence des électrons sur l'anode (lorsque celui-ci est différent de 90°). Cela peut d'ailleurs être corrigé en donnant à la zone émettrice

d'électrons une forme telle qu'une fois projetée sur l'anode le spot obtenu ait la forme désirée.

Précisons de plus que les rayons X engendrés à la surface de l'anode sont émis de façon
5 isotrope.

Certains d'entre eux s'échappent hors de l'anode tandis que d'autres pénètrent plus profondément dans celle-ci.

Si cette anode est épaisse, les seuls
10 photons X utilisables sont ceux qui sont émis en dehors de l'anode.

Dans chacun des exemples schématiquement représentés sur les figures 1 à 4, on prévoit un tube à rayons X avec une fenêtre faite d'un matériau choisi de
15 façon à être aussi peu absorbant que possible vis-à-vis des rayons X pour que ceux-ci puissent traverser cette fenêtre et sortir du tube.

Cette fenêtre maintient également l'étanchéité de l'enceinte de chaque tube de rayons X, enceinte dans laquelle on crée par des moyens (non
20 représentés sur les figures 1 à 4) une pression suffisamment basse (par exemple de l'ordre de 10^{-8} hPa ou moins) pour que le tube de rayons X fonctionne convenablement et durablement.

Dans un mode de réalisation particulier non représenté le tube à rayons X est lui-même sous vide (par exemple dans le cas d'un microscope électronique) et cette fenêtre est alors supprimée ou alors elle ne joue que le rôle de filtre optique ou de filtre de
25 pollution et les rayons X produits se propagent alors
30 dans le vide et irradiant un échantillon également placé dans le vide.

La figure 1 est une vue schématique d'un premier exemple du tube à rayons X de l'invention.

Le tube à rayons X schématiquement représenté sur cette figure 1 comprend, dans une
5 enceinte à vide 2, une source d'électrons 4 comprenant une seule micropointe 6, faite d'un matériau émetteur d'électrons et formée sur un substrat approprié 8, ainsi qu'une grille d'extraction 16.

Dans l'enceinte 2 se trouve également une
10 seule anode métallique 10 disposée en regard de la micropointe 6.

Des moyens non représentés sont prévus pour porter cette anode 10 à une haute tension positive par rapport à la micropointe 6.

Le tube à rayons X de la figure 1 comprend
15 aussi des bobines de Helmholtz 12 placées de préférence à l'extérieur de l'enceinte 2 (celle-ci étant faite d'un matériau amagnétique) et prévues pour créer un champ magnétique B qui est sensiblement parallèle à
20 l'axe Z de la micropointe et qui est homogène dans le volume compris entre la micropointe et l'anode 10, ce volume étant délimité par des traits mixtes $\underline{t}$ sur la figure 1.

A la place des bobines 12 on peut utiliser
25 un aimant pour créer ce champ magnétique et cet aimant peut être placé dans l'enceinte 2 ou à l'extérieur de celle-ci.

La tension appliquée entre l'anode et la micropointe peut être de l'ordre de +5 kV à +50 kV.

Un faisceau d'électrons est alors émis par
30 la micropointe 6 suivant l'axe Z, en direction de l'anode 10, grâce à l'application d'une tension sur la grille d'extraction 16.

La micropointe 6 est susceptible d'émettre un courant de l'ordre de 100 μ A.

Ce faisceau d'électrons est focalisé sur l'anode par le champ magnétique B.

5 Ce champ magnétique est de l'ordre de quelques dixièmes de Teslas.

Étant donné qu'on utilise une seule micropointe, la zone émettrice des électrons est de l'ordre de 1 μ m² ou même inférieure.

10 La taille du spot électronique sur l'anode est également de l'ordre de 1 μ m² ou même inférieure avec des champs magnétiques plus intenses.

On engendre ainsi des rayons X (ayant la référence X sur les figures 1 à 4) à partir d'un micro-
15 foyer F1 dont la taille est de l'ordre de 1 μ m².

Comme on le voit sur la figure 1, l'enceinte 2 est fermée par une fenêtre en béryllium 14.

Les rayons X quittent l'anode 10, traversent la fenêtre 14 qui est transparente aux rayons X et qui assure également l'étanchéité de l'enceinte.

Ces rayons X sont alors disponibles pour l'utilisation souhaitée.

25 Les rayons X engendrés dans l'anode 10, qui se propagent à l'intérieur de celle-ci (vers l'arrière), ne sont pas utilisés.

On précise que la source à micropointe 4 doit être située à une distance convenable de l'anode
30 10 afin que :

- les retours d'ions positifs (qui se propagent dans le sens des potentiels décroissants) n'endommagent pas la source ou cathode 4 et

- cette cathode ne fasse pas écran ou ombrage aux rayons X émis.

De préférence, afin d'éviter les retours d'ions, une grille intermédiaire 17, qui a une grande
5 transparence vis-à-vis des électrons émis par la micropointe 6, est disposée entre la source 4 et l'anode 10, à proximité de la source 4, sur le trajet du faisceau d'électrons, à quelques millimètres de la source 4.

10 Cette grille 17 est par exemple réalisée en un matériau conducteur et ajourée à 90% pour laisser passer les électrons.

Par ailleurs, cette grille 17 est portée (par des moyens non représentés) à un potentiel
15 supérieur à celui de la grille d'extraction 16. Il peut être soit très inférieur à celui de l'anode, par exemple de l'ordre de 200 V à 500 V ou alors, si la grille est extrêmement transparente aux électrons, légèrement supérieur à celui de l'anode afin d'empêcher
20 les ions positifs produits sur l'anode par l'impact électronique de remonter jusqu'à la cathode.

Un deuxième exemple du tube à rayons X de la présente invention est schématiquement représenté sur la figure 2.

25 Le tube à rayons X de la figure 2 est semblable à celui de la figure 1 excepté que, dans le cas de la figure 2, la source d'électrons 4 comprend plusieurs micropointes 6 qui sont formées sur le substrat 8 et dont les axes Z sont sensiblement
30 parallèles.

L'anode 10 est encore placée en regard de ces micropointes.

L'aimant ou les bobines de Helmotz 12 sont encore prévus pour créer le champ magnétique B homogène dans le volume compris entre la source 4 et l'anode 10, ce volume étant délimité par les traits mixtes t que
5 l'on voit sur la figure 2.

Ce champ magnétique est sensiblement parallèle aux axes Z des micropointes.

Le champ magnétique B focalise les électrons émis par ces micropointes de sorte que la
10 trajectoire moyenne des électrons est sensiblement parallèle à ce champ magnétique B dans le volume délimité par les traits mixtes t.

On dispose encore de préférence une grille 17 transparente aux électrons entre l'anode 10 et la
15 source 4, à quelques millimètres de cette dernière, comme on le voit sur la figure 2.

Des moyens non représentés permettent encore de polariser positivement l'anode 10 par rapport aux micropointes 6, par exemple à une tension de
20 l'ordre +10 kV, et de porter la grille 17 à un potentiel supérieur à celui des grilles 16 mais très inférieur à celui de l'anode 10 ou légèrement supérieur.

Le substrat a par exemple une surface de
25 l'ordre de $100\text{ }\mu\text{m}^2$ à 1 mm^2 et comprend par exemple 100 à 1000 micropointes réparties sur une zone de surface égale à $100\text{ }\mu\text{m}^2$ et permettant d'obtenir un courant électronique de l'ordre de 1 mA à 10 mA.

Si l'on ne tient pas compte de la charge
30 d'espace du faisceau électronique la focalisation magnétique permet d'obtenir un spot électronique F2 sur l'anode 10 ayant la même taille que la zone occupée par les micropointes de la cathode 4 (en ne tenant pas

compte de l'inclinaison de l'anode 10 par rapport au faisceau d'électrons).

Cette inclinaison de l'anode dans le tube à rayons X de la figure 2 (de même d'ailleurs que dans le tube à rayons X de la figure 1) est prévue pour envoyer
5 une grande quantité de rayons X en direction de la fenêtre en béryllium 14.

Il est à noter que, dans le cas des figures 1 et 2, les dimensions des spots électroniques et donc
10 des spots de rayons X sur l'anode 10 sont directement liées aux tailles des sources d'électrons (micropointe unique ou ensemble de micropointes).

On peut donc réaliser des tubes à rayons X conformes à l'invention dont la zone émettrice de rayon
15 X a exactement les dimensions et la forme souhaitées pour l'application envisagée, la répartition de l'intensité de la zone émettrice de rayons X étant fonction de la répartition de l'intensité d'émission de la première zone.

Le tube à rayons X conforme à l'invention,
20 qui est schématiquement représenté sur la figure 3, diffère de celui de la figure 1 par le qu'il comprend, en plus de l'anode 10, une autre anode 18 qui est placée à côté de l'anode 10 ainsi qu'une micropointe
25 supplémentaire 6a placée sur le substrat 8, en regard de cette autre anode 18.

Dans cet exemple on a donc deux zones émettrices d'électrons et deux zones émettrices de rayons X.

30 On est ainsi capable d'engendrer des faisceaux électroniques distincts qui sont encore focalisés par le champ magnétique B, ce champ étant homogène dans le volume compris entre les sources à

micropointes et les deux anodes (ce volume étant encore délimité par les deux traits mixtes $\underline{t}$ que l'on voit sur la figure 3).

Ces faisceaux électroniques distincts
5 permettent d'engendrer des faisceaux de rayons X distincts.

Les anodes 10 et 18 sont inclinées de la même façon par rapport aux faisceaux d'électrons, comme on le voit sur la figure 3, pour envoyer chacune une
10 grande quantité de rayons X vers la fenêtre 14.

Si l'on voulait cependant séparer les deux faisceaux de rayons X, on pourrait les incliner différemment.

Au lieu d'associer une seule micropointe à
15 chaque anode on pourrait lui associer plusieurs micropointes.

Les zones F3 et F4 émettrices des rayons X, respectivement situées sur les anodes, sont homothétiques des deux zones émettrices des électrons
20 (respectivement à une micropointe ou à un ensemble de micropointes).

L'intérêt d'un tube à rayons X du genre de celui de la figure 3 réside dans le fait que les deux anodes peuvent être faites de matériaux différents.

25 On est ainsi capable d'engendrer des rayons X de longueurs d'onde différentes.

Le tube à rayons X « polychrome » ainsi obtenu permet de faire une interprétation discriminante de certaines expériences utilisant des rayons X.

30 On peut par exemple faire en sorte que l'anode 10 émette des rayons X dont la longueur d'onde ne permet pas de mettre en évidence des particules 20 contenues dans un échantillon 22 situé à l'extérieur du

tube de rayons X, en regard de la fenêtre 14, un détecteur 24 étant placé à la suite de cet échantillon 22 (qui est ainsi compris entre la fenêtre 14 et le détecteur 24) et faire en sorte que l'anode 18 émette
5 des rayons X dont la longueur d'onde permet au contraire de mettre ces particules en évidence.

Par soustraction on accède donc à une meilleure connaissance de la nature et de la localisation des particules 20 contenues dans
10 l'échantillon 22.

Le tube conforme à l'invention, qui est schématiquement représenté sur la figure 4, comprend encore une enceinte 2 sous vide fermée par une fenêtre 14 transparente aux rayons X et par exemple en
15 béryllium.

Dans cette enceinte se trouve encore une cathode à micropointes 4 en regard de laquelle est placée une grille 17 transparente aux électrons émis par les micropointes 6.

20 Le tube à rayons X de la figure 4 comprend aussi une anode 10 mise à la masse et constituée par exemple par une couche de tungstène qui est déposée sur la fenêtre en béryllium.

Des moyens de polarisation 28 sont prévus
25 pour porter les micropointes formées sur un substrat approprié 8 à une tension négative par rapport à la grille d'extraction 16 et des moyens 29 prévus pour porter l'ensemble de la cathode à une haute tension négative par rapport à celle de l'anode.

30 L'anode 10 formée sur la fenêtre 14 est placée en regard de la grille 16 et des micropointes 6 et cette anode est sensiblement parallèle au substrat 8 et à la grille 16.

Le tube à rayons X de la figure 4 comprend aussi un aimant 30 extérieur à l'enceinte 2 et prévu pour créer un champ magnétique B perpendiculaire à l'anode, homogène dans le volume compris entre la source 4 et l'anode 10 et prévu pour focaliser les électrons émis par les micropointes sur cette anode.

Lorsque l'anode 10 est frappée par les électrons émis par les micropointes elle émet des rayons X qui traversent la fenêtre en béryllium 14.

Un détecteur spatial 32 de rayons X est placé en regard de la fenêtre 14, à l'extérieur de l'enceinte 2 du tube à rayons X.

On voit également sur la figure 4 un écran échantillon 34 partiellement opaque aux rayons X, pourvu d'une ouverture 36 et placé entre la fenêtre 14 et le détecteur spatial 32, les rayons X traversant ainsi cette ouverture 36 avant de parvenir au détecteur.

Cet exemple met en évidence le concept de radiographie planaire avec une source X étendue : seules les régions de faible absorption (symbolisées par le trou 36 laissent passer les rayons X détectés par le détecteur bidimensionnel 32.

Le tube à rayons X de la figure 4 a un foyer F5 (zone qui émet les rayons X) étendu, défini par focalisation magnétique, ce foyer ayant une uniformité qui peut être constante ou contrôlée.

Avec une cathode à micropointes de taille suffisante cette zone F5 qui émet des rayons X peut avoir une surface de plusieurs dizaines de cm².

Une telle zone F5, qui n'est pas du tout ponctuelle, est néanmoins parfaitement délimitée grâce à la focalisation magnétique.

La zone F5 de la figure 4, qui émet les rayons X, a rigoureusement le même degré d'extension que la zone émettrice des électrons (ensemble des micropointes) bien que quelques millimètres séparent la cathode à micropointes 4 de l'anode 10.

On pourrait donner une forme quelconque à la cathode à micropointes d'un tube à rayons X conforme à l'invention, par exemple la forme d'un « P ».

La zone émettrice des rayons X aurait alors également la forme d'un « P », chose qui n'est pas réalisable avec un tube à rayons X classique, utilisant un filament émetteur d'électrons ou une cathode thermoionique.

Un tube à rayons X conforme à l'invention peut être pulsé.

D'une façon générale on peut soit pulser la haute tension appliquée à l'anode de ce tube, pour que les électrons soient alternativement attirés puis repoussés par cette anode, soit pulser la source d'électrons de façon que le faisceau d'électrons soit alternativement émis puis pas émis.

On peut par exemple porter l'anode à la haute tension (constante dans le temps) et pulser la cathode à micropointes pour générer des courants-crêtes d'électrons de plusieurs mA, sous forme d'impulsions de durée atteignant 100 ps ou moins, et séparées par des temps morts de durée plus ou moins longue.

Dans le cas d'un tube pulsé, on focalise encore le faisceau d'électrons grâce à l'action d'un champ magnétique comme on l'a vu dans les exemples des figures 1 à 4.

On peut appliquer un tel tube pulsé à la photographie X pulsée.

Dans l'invention, on peut bien sûr utiliser une cathode à micropointes ayant une structure matricielle et commander successivement les différentes rangées de cette cathode à micropointes, ce qui
5 correspond également à un fonctionnement en mode pulsé du tube à rayons X comprenant cette cathode à structure matricielle.

Dans la présente invention, on peut utiliser en tant qu'anode une plaque d'aluminium ou de
10 magnésium ou une mince couche de tungstène formée par évaporation sur un support conducteur de la chaleur (afin d'évacuer cette dernière). Le matériau de l'anode est choisi dans la classification périodique des éléments en fonction de l'application.

15 On précise que la fenêtre 14 qui ferme l'enceinte à vide 2 est suffisamment épaisse pour assurer l'étanchéité mais suffisamment mince pour ne pas trop absorber les rayons X émis lorsque le tube à rayons X fonctionne.

20 Cette fenêtre peut avoir une structure alvéolée assurant à la fois la rigidité et l'étanchéité au vide et la transmission des rayons X grâce aux épaisseurs les plus fines.

L'épaisseur de cette fenêtre dépend du
25 diamètre de celle-ci et peut être de l'ordre de 100 μm ou moins par endroits.

Si on le souhaite, on peut disposer dans cette enceinte 2 un élément de type getter pour maintenir une très basse pression.

30 On peut associer à un tube à rayons X conforme à l'invention un système de régulation du courant électronique émis par la cathode à

micropointe(s) comme l'illustre schématiquement la figure 5.

On voit sur celle-ci la cathode à micropointe(s) 4, une seule micropointe 6 étant
5 représentée et reposant sur une couche conductrice 38 mise à la masse.

Cette couche 38 repose elle-même sur un substrat 40 par exemple en silicium.

On voit aussi la grille 16 percée en regard
10 de la micropointe et électriquement isolée de la couche 38 par une couche 42 de SiO_2 .

On voit également l'anode 10 du tube à rayons X ainsi que des moyens 44 permettant d'appliquer une tension appropriée variable positive à la grille 16
15 par rapport à la micropointe 6 et des moyens 46 permettant d'appliquer une haute tension appropriée positive à l'anode 10 par rapport à la micropointe.

Une résistance 48 de valeur r est montée entre la masse et la borne négative des moyens 46
20 d'application de la haute tension à l'anode.

Le système de régulation comprend un amplificateur opérationnel 50 qui commande les moyens d'application de tension 44 en fonction d'une valeur de tension de référence R fixée par les utilisateurs et de
25 l'image en tension du courant circulant dans la résistance 48.

Plus précisément, les électrons entrant dans l'anode 10 correspondent à un courant d'intensité i .

30 Celui-ci provient de la masse, passe par la résistance 48 et par l'alimentation (moyens d'application) 46.

Aux bornes de la résistance 48 existe une tension V égale à $r.i.$

Cette tension V est envoyée à l'amplificateur opérationnel 50 et ce dernier compare
5 cette tension V à la tension de référence R
correspondant au courant désiré par l'utilisateur.

Ce système de régulation est connu.

Les exemples de l'invention qui ont été décrits en faisant référence aux figures 1 à 4
10 utilisent des anodes planes.

Cependant on ne sortirait pas du cadre de l'invention en utilisant des anodes d'un autre type par exemple des « anodes tournantes » de forme cylindrique.

REVENDICATIONS

1. Tube à rayons X comprenant :

- au moins une source d'électrons (4) dont une zone, appelée première zone, est destiné à émettre des électrons, 5
- au moins une anode (10, 18) dont une zone, appelée deuxième zone, est destinée à émettre des rayons X sous l'impact de ces électrons, et
- des moyens (12, 30) de focalisation sur cette 10 deuxième zone, des électrons émis par la première zone,

ce tube à rayons X étant caractérisé en ce que la source d'électrons (4) est une source d'électrons à au moins une micropointe (6, 20) et à grille d'extraction 15 (16) et en ce que les moyens de focalisation sont des moyens de focalisation magnétique (12, 30) aptes à créer un champ magnétique qui est homogène au moins dans le volume compris entre les première et deuxième zones, les caractéristique vectorielles de ce champ 20 étant telles que la deuxième zone est homothétique de la première zone.

2. Tube à rayons X selon la revendication 1, dans lequel la source d'électrons (4) comprend une seule micropointe (6).

25 3. Tube à rayons X selon la revendication 1, dans lequel la source d'électrons (4) comprend une pluralité de micropointes (6).

4. Tube à rayons X selon la revendication 1, comprenant une pluralité de sources d'électrons, une 30 zone émettrice de rayons X correspondant à chaque source d'électrons.

5. Tube à rayons X selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant une seule anode (10).

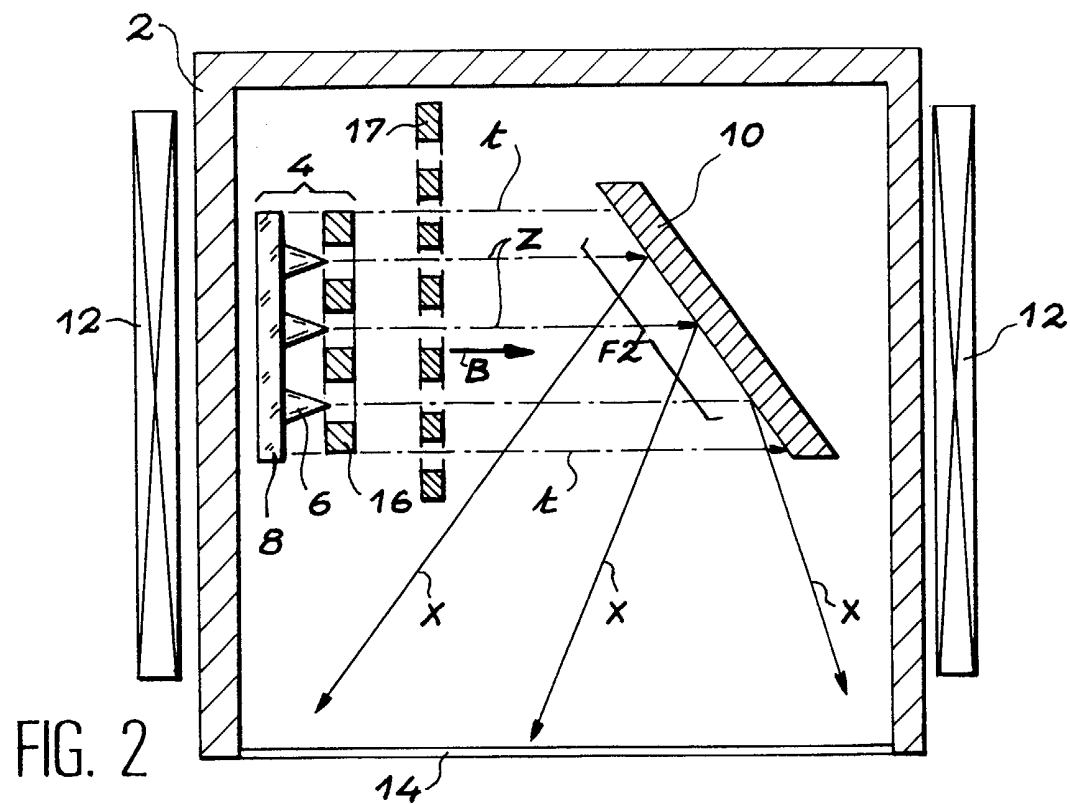
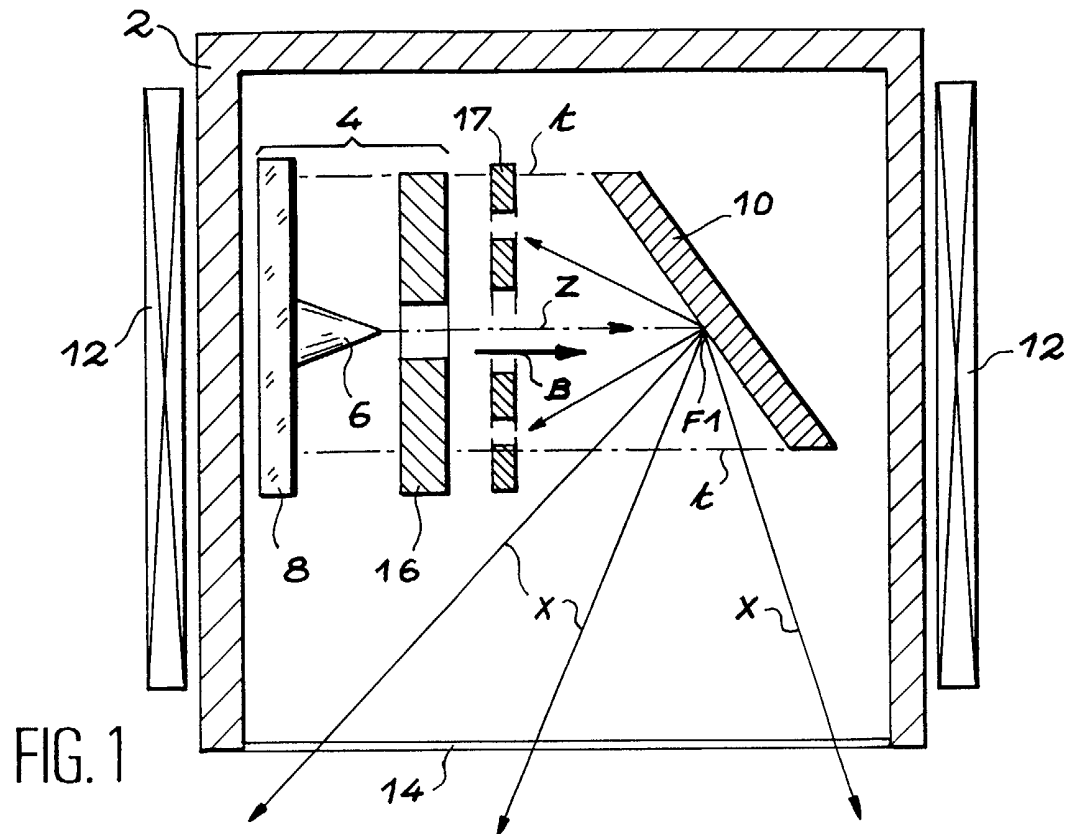
5 6. Tube à rayons X selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant une pluralité d'anodes (10, 18), chaque anode étant associée à au moins une micropointe (6, 20).

7. Tube à rayons X selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel la source
10 d'électrons (4) est pulsée de manière à obtenir des impulsions de rayons X.

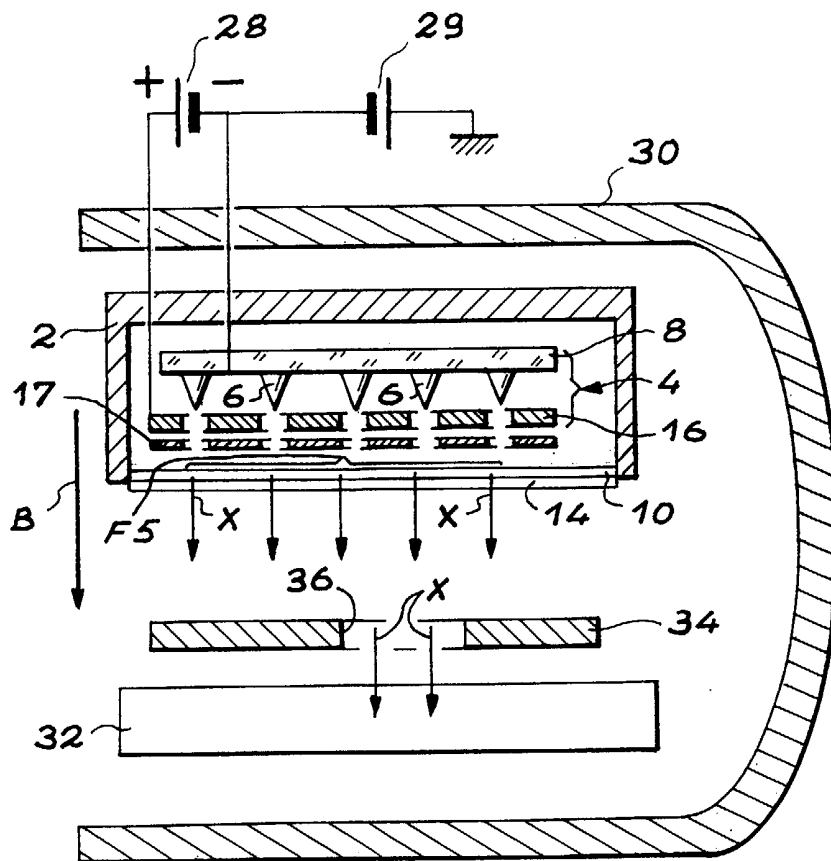
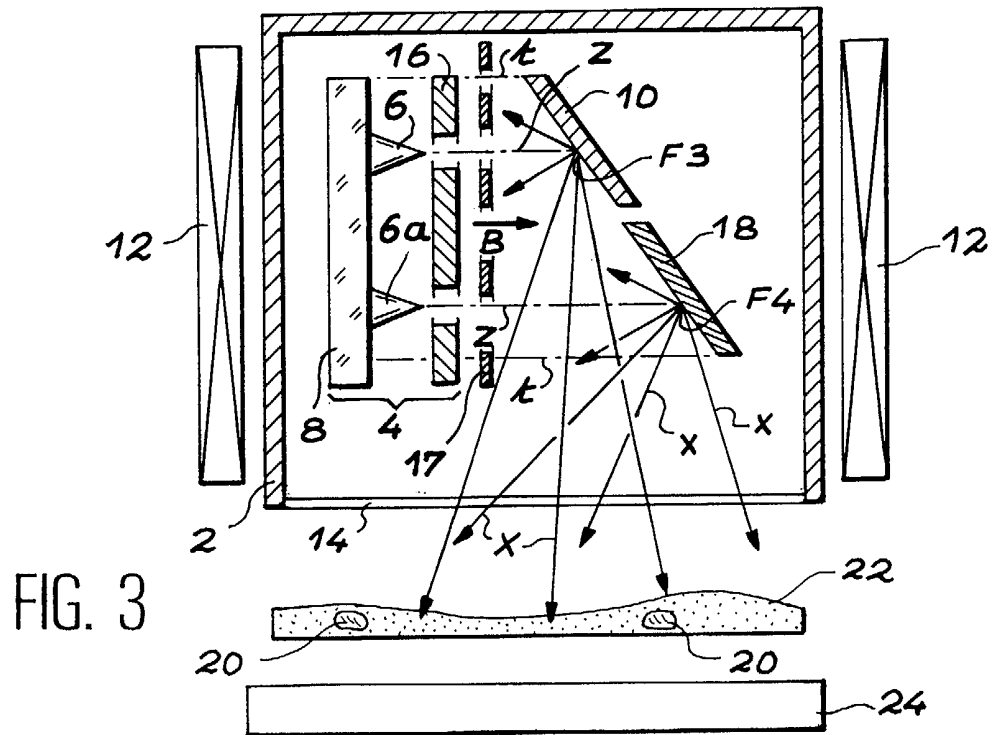
8. Tube à rayons X selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, comprenant en outre une grille (17) électriquement conductrice qui est disposée
15 entre la source d'électrons et chaque anode, cette grille étant polarisée de manière à empêcher des ions d'atteindre la source d'électrons et à éviter la formation d'arcs électriques entre cette source d'électrons et chaque anode.

20 9. Tube à rayons X selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel les moyens de focalisation magnétique comprennent un aimant (30) ou des bobines de Helmholtz (12) ou à la fois un aimant et des bobines de Helmholtz.

1/3



2 / 3



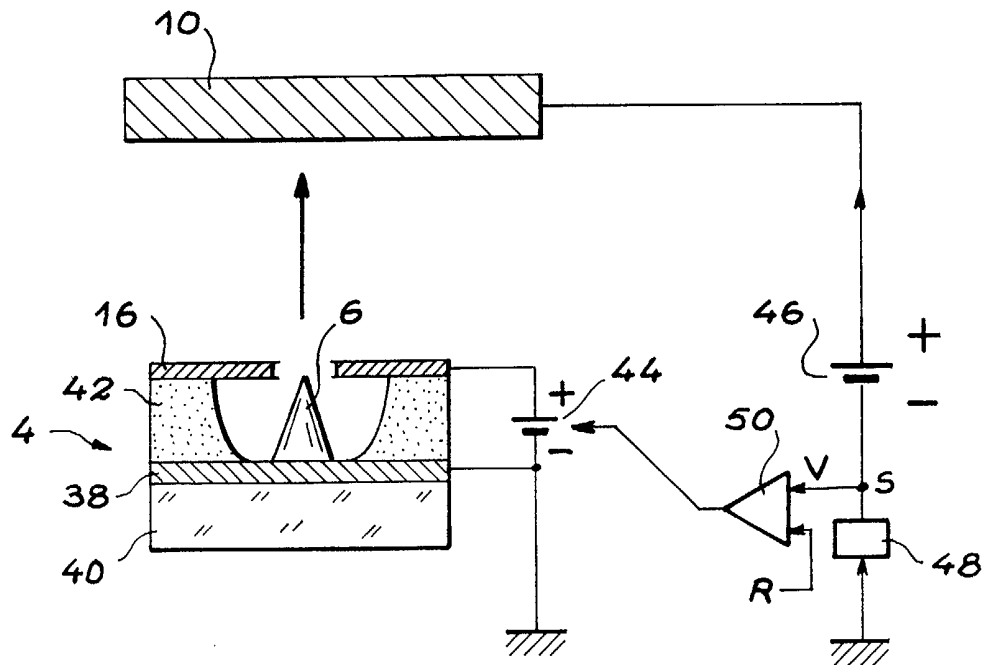


FIG. 5

INSTITUT NATIONAL

de la

PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIREétabli sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la rechercheN° d'enregistrement
nationalFA 545022
FR 9707342

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	V.KOLARIK: "an x-ray projection microscope with field emission gun" JOURNAL OF MICROSCOPY, vol. 156, no. 2, novembre 1989, pages 247-251, XP002052450 * page 248 *	1,2,5,9
Y	US 4 979 199 A (CUEMAN MICHAEL K ET AL) * colonne 2, ligne 22 - ligne 61; revendications 9,21,31 *	1
Y	US 4 012 656 A (NORMAN RALPH L ET AL) * revendications 1-5 *	1
A	US 3 665 241 A (SPINDT CHARLES A ET AL) * colonne 7, ligne 43 - ligne 46; revendication 1 *	1
A	US 3 518 433 A (OWEN WILLIAM DENLEY) * revendications 5-11 *	1,7
A	WO 87 06055 A (VARIAN ASSOCIATES) * page 3, ligne 22 - page 4, ligne 15; revendications 1,3 *	1,9
A	US 3 783 288 A (BARBOUR J ET AL) * revendications 1-12 *	1,3,7
A	DE 895 481 C (SIEMENS-REINIGER-WERKE A.G.) * page 2, ligne 91 - ligne 94; revendications 1-5 *	1
A	EP 0 473 227 A (PHILIPS NV) * revendications 1-4 *	1
A	US 3 883 760 A (CUNNINGHAM JR THOMAS C) * revendication 1 *	1
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
19 janvier 1998		Van den Bulcke, E
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		