(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 232 520 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
30.04.2014 Bulletin 2014/18

(21) Numéro de dépôt: **09703777.4**

(22) Date de dépôt: **23.01.2009**

(51) Int Cl.:
H01J 35/06 *(2006.01)*

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2009/050809

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2009/092813 (30.07.2009 Gazette 2009/31)

(54) SOURCE RADIOGENE COMPRENANT AU MOINS UNE SOURCE D'ELECTRONS ASSOCIEE A UN DISPOSITIF PHOTOELECTRIQUE DE COMMANDE

MIT EINER PHOTOELEKTRISCHEN STEUERVORRICHTUNG KOMBINIERTE RADIOGENE QUELLE MIT MINDESTENS EINER ELEKTRONENQUELLE

RADIOGENIC SOURCE COMPRISING AT LEAST ONE ELECTRON SOURCE COMBINED WITH A PHOTOELECTRIC CONTROL DEVICE

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorité: **25.01.2008 FR 0800397**

(43) Date de publication de la demande:
29.09.2010 Bulletin 2010/39

(73) Titulaire: **THALES**
92200 Neuilly-sur-Seine (FR)

(72) Inventeurs:
- **LEGAGNEUX, Pierre**
  F-78320 Le Mesnil St Denis (FR)
- **HUDANSKI, Ludovic**
  60150 Giraumont (FR)
- **PONARD, Pascal**
  F-74500 Neuvecelle (FR)
- **BOURAT, Christophe**
  F-74140 Sciez (FR)
- **SCHNELL, Jean-Philippe**
  F-75007 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Esselin, Sophie et al**
Marks & Clerk France
Conseils en Propriété Industrielle
Immeuble Visium
22, Avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(56) Documents cités:
FR-A- 2 879 342 **US-A1- 2006 002 514**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 2 232 520 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Description

[0001] Le domaine de l'invention est celui des sources radiogènes, généralement utilisées dans des applications industrielles, scientifiques et médicales afin de fournir le flux de photons permettant notamment la réalisation des images suivant différentes techniques de reconstruction en deux ou trois dimensions spatiales. Ces sources radiogènes sont également intéressantes dans le domaine de la sureté, notamment l'inspection de bagages et colis par rayons X.

[0002] Depuis longtemps, des systèmes fixes basés sur l'imagerie X en transmission, sont utilisés pour la sécurité aéroportuaire. Depuis une dizaine d'années, les besoins de sécurisation de lieux publics vont croissant et requièrent des systèmes sur plateformes mobiles pour détecter des substances chimiques dangereuses ou des explosifs cachés dans des bagages ou colis. Les systèmes mobiles existants utilisent en particulier la rétrodiffusion de rayons X. Cependant, la capacité de détection et d'identification demeure limitée. Il est en particulier difficile de discriminer entre des substances de densités voisines. La transmission X est une autre technique utilisable. Elle donne accès à une combinaison de la densité du matériau p et de son numéro atomique effectif Z_{eff}, mais pas à chacune de ces deux grandeurs séparément, et de plus, les contributions de plusieurs éléments constituant le colis se superposent en fonction de l'épaisseur traversée. L'imagerie 3D par transmission à une énergie permet une cartographie du coefficient d'atténuation μ en tout point d'un objet. Cette technique permet donc de s'affranchir de l'épaisseur traversée.

[0003] Le coefficient d'atténuation μ est une fonction de la densité du matériau p, de son Z_{eff} et dépend de l'énergie. La transmission X multi-énergies en 3D permet finalement de déterminer ρ, et Z_{eff}.

[0004] Il existe un besoin réel de systèmes d'identification fiables, et de mise en oeuvre rapide et aisée. Ces systèmes nécessitent la mise en oeuvre de sources radiogènes autorisant une imagerie en trois dimensions sans déplacement mécanique du système de source.

[0005] Dans la plupart des cas, les sources radiogènes utilisent des cathodes thermo-ioniques comme émetteur d'électrons mais ces solutions présentent plusieurs limitations :

Dans le cas des cathodes thermoïoniques à chauffage direct (figure 1a) représentant un filament Fil en regard d'une anode A, ou à chauffage indirect (figure 1b) représentant un filament Fil chauffant une cathode Cath imprégnée en regard d'une anode A, une première limitation provient de l'inertie thermique de ce type de cathode interdisant une modulation rapide du courant donc du débit de dose RX (à énergie donnée, le débit de dose est souvent commandé par le courant débité par la cathode, si les fronts de montée ou d'arrêt ne sont pas raides, cela se traduira par des phases transitoires d'émission de rayonnement X pouvant nuire à la qualité de l'image reçue sur le détecteur). Une seconde limitation est liée à la nécessité d'avoir une alimentation du filament complexe, si elle est référencée à la haute tension. Les différents passages isolants permettant de polariser grille, filament et cathode sont également plus complexes et volumineux car ils doivent supporter les tensions élevées (20 à 600kV) généralement rencontrées dans les tubes radiogènes.

[0006] Pour remédier au problème de dynamique de contrôle du courant évoqué ci-dessus, des dispositifs utilisent une grille G polarisée, formée par exemple par des fils ou grillage, ou plaque percée comme illustré en figure 2a et 2b.

[0007] Ainsi chaque source radiogène est généralement constituée d'au minimum une cathode, un filament, une grille de contrôle du courant (si celui ci est modulé), portés à différentes hautes tensions au travers d'un isolant haute tension comme représenté sur la figure 2c. La taille finale de la source radiogène est fortement conditionnée par la dimension de cet isolant. Compte tenu de ces contraintes de connexion et d'isolement électrique, il est très difficile d'envisager deux (ou plus) sources X dans une même enveloppe à vide. Ainsi les systèmes existants comprenant plusieurs sources X sont constitués de plusieurs tubes radiogènes distincts.

[0008] Dans le cas des cathodes froides à émission de champ à pointes, notamment à nanotubes de carbone, dans la version la plus simple le filament et son alimentation sont supprimés comme illustré en figure 3a. Cette disposition de type diode ne permet cependant pas de contrôler l'intensité du courant émis indépendamment de la tension d'anode. En effet, la tension est fixée par l'énergie des RX recherchée, et la distance mécanique entre l'anode et la cathode est fixe, de sorte que le champ électrique au niveau du sommet des nanotubes ainsi que le courant émis sont également fixés. Une disposition avantageuse comme illustrée en figure 3b, constituée éventuellement d'un élément de focalisation F (électrostatique ou magnétique) et d'une grille d'extraction polarisée G, peut permettre de contrôler le courant.

[0009] Parmi les principaux avantages d'une cathode froide notamment à nanotubes de carbone sur une cathode thermoïonique conventionnelle, il est à noter

- la suppression d'un délai de préchauffage d'un filament ce qui conduit à une disponibilité immédiate en opération,
- l'absence de vieillissement par fatigue liés aux cycles thermo-mécaniques rencontrés lors des séquences marche/arrêt,
- la suppression du filament porté à haute température et de l'alimentation associée conduisant à une réduction de l'énergie consommée et à une simplification de l'alimentation
- et la possibilité d'une modulation de l'émission par polarisation d'une grille d'extraction située devant la

cathode à nanotubes de carbone.

[0010] Pour une cathode froide, notamment à nanotubes de carbone, associée à une grille on retrouve cependant plusieurs limitations liées à la présence de la grille dans le domaine d'application des tubes radiogènes.

[0011] Parmi ces limitations on peut noter que :

- la capacité cathode grille limite la fréquence maximale de modulation,
- le courant émis par la cathode varie exponentiellement avec la tension appliquée sur la grille dégradant la qualité de l'asservissement du courant émis par la cathode
- la grille n'étant pas intégralement transparente au flux électronique, elle intercepte de 30 à 50% du courant émis par la cathode, favorisant les variations dimensionnelles de cette grille issues de l'échauffement et par voie de conséquence générant une instabilité du courant émis par la cathode du fait de la variation exponentielle décrite précédemment. L'inertie thermique et la fragilisation sont des facteurs aggravants.

- La fraction de courant intercepté par la grille et l'échauffement de celle ci en résultant sont également des limitations pour une utilisation de ce type de cathode à des courants élevés (quelques dizaines de mA). Par exemple pour une cathode d'un tube radiogène dont la tension serait de 150kV pour un courant de 2 mA, une grille interceptant 40% du courant devrait dissiper 120W.
- Dans le cas de cathodes constituées d'une pluralité de pointes, ici des nanotubes, une faible inhomogenéité des caractéristiques géométriques des pointes conduit à une large distribution des champs au sommet et donc des courants émis sur l'ensemble des pointes, depuis des valeurs pouvant aller d'une émission faible jusqu'à la destruction du nanotube
- Il est par ailleurs nécessaire de disposer d'une alimentation complexe permettant de contrôler la tension de grille par rapport à la haute tension.

[0012] Les dispositifs d'imagerie 3D sont de deux types. Dans le premier type, ils comprennent un générateur de rayons X et un détecteur en regard, permettant de mesurer le rayonnement ayant traversé l'objet ou le patient. Afin de multiplier les angles de vue, ces systèmes nécessitent la rotation de la source et du détecteur ou de l'objet ou du patient. Ces systèmes sont généralement lourds et complexes et demandent un temps d'analyse important incompatible avec les besoins nouveaux.

[0013] Le deuxième type autorise des techniques d'imagerie 3D sans aucun déplacement du système, ni de l'objet. Ils nécessitent plusieurs générateurs de rayonnement X et plusieurs détecteurs permettant l'observation sous différentes incidences et imposant une recombinaison des images obtenues pour en extraire l'information 3D. Ces systèmes dits de tomosynthèse sont plus simples que les précédents et peuvent permettre de réduire fortement les temps d'analyse et la complexité du système.

[0014] Enfin, certains tubes radiogènes comportent en plus de la haute tension continue, un accélérateur linéaire (linac, en abrégé anglo-saxon) pour porter les électrons à très haute énergie afin de produire des rayons X eux-mêmes de très haute énergie. L'injection d'électrons dans une structure accélératrice d'un accélérateur linéaire est réalisée dans sa configuration conventionnelle à l'aide d'un canon à électrons à base de cathode à effet thermoïonique avec grille ou sans grille. L'émission électronique est contrôlée par le chauffage du filament de la cathode et/ou la polarisation de la grille de contrôle.

[0015] Pour répondre notamment aux besoins de l'imagerie médicale à rayons X, le contrôle du flux de dose (Gy/s) doit être maîtrisé. Il faut donc assurer une grande stabilité de la dose émise, laquelle dépend de la régularité du courant électronique généré et de la qualité du dispositif de régulation en courant de la photocathode.

[0016] La présente invention propose en réponse une source radiogène comprenant une source froide d'électrons soumise à un champ électrique et fonctionnant par émission de champ, et un élément photoconducteur placé en série avec l'émetteur d'électrons de sorte que le courant photogénéré par illumination dans le dispositif photoconducteur est égal à celui de l'émetteur.

[0017] Ainsi, le courant émis est contrôlé par l'illumination, directement, et non par l'intermédiaire d'une commande en tension d'une électrode d'extraction. Cette disposition garantit une dépendance linéaire du courant d'émission avec l'illumination et un asservissement très sensible et de très bonne qualité du courant émis.

[0018] Plus précisément l'invention a pour objet une source radiogène comprenant au moins une enceinte à vide, des moyens d'introduction d'une onde optique, au moins une source froide pouvant émettre des électrons dans le vide par le phénomène de l'émission de champ lorsqu'elle est soumise à un champ, au moins une alimentation fournissant une haute tension électrique, au moins une anode comprenant un matériau susceptible d'émettre des rayons X sous l'effet du bombardement électronique et au moins une fenêtre permettant la sortie des rayons X, au moins une source de lumière fournissant ladite onde optique, caractérisée en ce que la source froide comprend au moins un substrat muni d'au moins une surface conductrice, et est soumise à un champ électrique résultant de l'application de la haute tension entre au moins une surface conductrice et l'anode ; ladite source froide comprenant en outre au moins un élément photoconducteur dans lequel le courant est contrôlé par l'illumination et au moins un élément émetteur d'électrons, ledit élément photoconducteur étant électriquement connecté en série entre ledit au moins un élément émetteur et une surface conductrice, de sorte que le courant photogénéré dans ledit élément photoconducteur est égal à celui de l'émetteur ou du groupe d'émetteurs auquel il

est associé, et de sorte que le flux de rayons X émis est sensiblement linéairement dépendant de l'illumination.

[0019] Avantageusement, la source froide peut fonctionner sans grille d'extraction.

[0020] Avantageusement, la source froide peut être mise ainsi à une haute tension négative, et l'anode cible à la masse électrique, simplifiant le refroidissement de l'anode cible.

[0021] Avantageusement, un tel système simplifie le découplage galvanique des dispositifs de commande en courant, par l'isolation galvanique apportée par la commande optique.

[0022] Avantageusement, les circuits de commande peuvent être à la basse tension.

[0023] Selon une variante de l'invention, la ou les surfaces conductrices, le ou les photoconducteurs et le ou les éléments émetteurs sont intégrés sur le substrat de manière monolithique. Une telle structure est ci-dessous referré comme photocathode.

[0024] Selon une variante de l'invention, la source comporte au moins une source froide d'électrons à pointes émettrices.

[0025] Selon une variante de l'invention, la source comprend une pointe émettrice pour former une source ponctuelle pour l'imagerie X, haute résolution.

[0026] On entend par là une pointe émettrice unique dont l'image nette produite par une optique électronique sur la cible X est nécessairement plus petite (sensiblement ponctuelle) que celle d'un réseau de pointes émettrices. Une image de l'objet étudié avec une telle source X sera nécessairement à plus haute résolution qu'une image obtenue avec une source X associée avec un réseau étendu de pointes.

[0027] Selon une variante de l'invention, la source comprend au moins une source froide d'électrons à pointe émettrice en nanotube de carbone ou en nanofils métalliques.

[0028] Selon une variante de l'invention, le matériau cible du bombardement électronique est en tungstène ou en composite comportant du tungstène ou tout autre matériau réfractaire à Z élevé.

[0029] Par dispositif photoconducteur, on entend dispositif dont l'état de conduction est contrôlé par l'illumination.

[0030] Selon une variante de l'invention, le dispositif photoconducteur est de type photodiode en semiconducteur à structure PIN ou P désigne une zone dopée P, I désigne une zone intrinsèque ou non intentionnellement dopée ou peu dopée, et N une zone dopée N.

[0031] Selon une variante de l'invention, le dispositif photoconducteur est une diode MIN ou M désigne une zone métallique,

[0032] Selon une variante de l'invention, l'élément photoconducteur comprend une couche métallique sur au moins une de ses faces de contact.

[0033] Selon une variante de l'invention, la source froide comprend au moins un substrat conducteur comportant au moins un émetteur d'électrons et un dispositif photoconducteur de manière à former au moins une photocathode.

[0034] Selon une variante de l'invention, la source froide comprend au moins un substrat conducteur au moins une pointe dont le sommet est à une hauteur h par rapport au substrat conducteur et au moins un élément photoconducteur disposé entre la pointe et le substrat conducteur telle que la pointe soit éloignée de ses éventuelles voisines d'une distance d sensiblement égale ou supérieure deux fois la hauteur h, et telle que les dimensions latérales phi des éléments photoconducteurs soient environ égales ou inférieure la hauteur h.

[0035] Selon une variante, les émetteurs ou groupes d'émetteurs sont disposés en réseaux réguliers.

[0036] Selon une variante de l'invention, le substrat comprend une face dite avant supportant l'élément émetteur, la source de lumière éclairant ladite face avant.

[0037] Selon une variante de l'invention, le substrat est transparent à ladite source de lumière, ladite source de lumière éclairant ledit substrat en face opposée à la face avant.

[0038] Selon une variante de l'invention, le substrat présente une zone amincie destinée à être illuminée, de manière à minimiser les phénomènes d'absorption ladite source de lumière éclairant ledit substrat en face opposée à la face avant.

[0039] Avantageusement, la source radiogène comporte en outre des moyens de réglage de la puissance optique de la source de lumière pour régler la puissance de rayons X générés.

[0040] Elle peut aussi avantageusement comprendre des moyens pour régler la focalisation de la source de lumière sur la source d'électrons.

[0041] Selon une variante de l'invention, la source comprend un mono-tube X de symétrie cylindrique comportant une enceinte, renfermant une photocathode, une cible, un miroir permettant d'illuminer la photocathode avec un faisceau lumineux perpendiculaire à l'axe du mono-tube issu de la source d'illumination, et une fenêtre optique permettant de recueillir l'émission X.

[0042] Selon une variante de l'invention, la source radiogène comprend plusieurs mono-tubes X, un support circulaire supportant lesdits mono-tubes X disposés radialement, une alimentation haute tension, des moyens de distribution de ladite alimentation haute tension sur les différents mono-tubes de manière à produire des faisceaux de rayons X, et des moyens individuels de contrôles optiques indépendants dédiés à chacun des mono-tubes.

[0043] Selon une variante de l'invention, lesdits faisceaux de contrôle optique et les faisceaux de rayons X sont tous parallèles entre eux et perpendiculaires audit support circulaire.

[0044] Selon une autre variante de l'invention, la source radiogène comprend en outre des moyens pour faire converger lesdits faisceaux de rayons X.

[0045] Selon une variante de l'invention, la source radiogène comprend une enceinte, plusieurs ensembles

constitués chacun d'un couple constitué d'une photocathode associée à une cible et des moyens de distribution d'alimentation desdites photocathodes.

[0046] Selon une variante, l'enceinte présente une forme concave de manière à générer des faisceaux de rayons X convergents.

[0047] Selon une variante de l'invention, la source radiogène comporte :

- la photocathode dite étendue ou l'ensemble de photocathodes ;
- la cible dite étendue ou l'ensemble de cibles, en regard respectivement de ladite photocathode étendue ou de l'ensemble de photocathodes;
- le dispositif d'adressage de l'illumination de la photocathode étendue ou de l'ensemble de photocathodes, de manière à sélectionner différentes zones au cours du temps sur la photocathode étendue ou à sélectionner différentes photocathodes dans l'ensemble de photocathodes et corrélativement rendre les zones de la cible étendue ou d'une cible parmi l'ensemble de cible, émettrice de rayons X.

[0048] Selon une variante de l'invention, la source comprend un modulateur spatial et/ou temporel permettant de défléchir un faisceau issu de la source d'illumination, vers différentes zones de la photocathode étendue ou différentes photocathodes parmi un ensemble de photocathodes.

[0049] Selon une variante de l'invention, le dispositif d'adressage est un modulateur spatial de lumière éclairé par un faisceau étendu permettant de transférer différentes lois d'éclairement sur une zone de la photocathode étendue ou sur une photocathode dans l'ensemble de photocathodes, et d'obtenir les lois correspondantes d'émission de rayons X depuis une zone de cible étendue ou sur une cible de l'ensemble de cibles.

[0050] Selon une variante de l'invention, la source comprend un ensemble de sources d'illumination et est caractérisée en ce que le dispositif d'adressage est un déflecteur opto-mécanique ou opto-électrique et active des sources d'illumination associées de manière biunivoque à différentes zones de la photocathode étendue ou à différentes photocathodes de l'ensemble de photocathodes, lesdites zones ou photocathodes étant associées de manière biunivoque à différentes zones de la cible étendue ou à différentes cibles parmi l'ensemble de cibles.

[0051] Selon une variante de l'invention, la distribution de puissance lumineuse est réalisée au moins pour partie par propagation guidée (fibres optiques) au lieu de propagation spatiale.

[0052] Selon une variante de l'invention, l'enceinte à vide comporte des passages pour les fibres optiques

[0053] Selon une variante de l'invention, les modulateurs spatiaux sont de type à propagation guidée.

[0054] Une ou plusieurs des variantes ci-dessus peuvent être complétées et formulées comme ci-dessous :

Selon une variante de l'invention, la source radiogène comprend une enceinte à vide, et au moins un triplet composé coaxialement et consécutivement :

- d'une fenêtre transparente aux photons
- d'une photocathode polarisée à la haute tension négative
- d'une cible

et les moyens d'alimentation électrique de ces éléments.

[0055] Selon une variante de l'invention, la source radiogène prévoit une disposition des triplets de telle sorte qu'ils génèrent des faisceaux X spatialement convergents.

[0056] Selon une variante de l'invention, la source radiogène prévoit une disposition des triplets de telle sorte qu'ils génèrent des faisceaux X parallèles et organisés matriciellement.

[0057] Selon une variante de l'invention, la source radiogène prévoit une disposition des triplets de telle sorte qu'ils génèrent des faisceaux X parallèles et organisés circulairement.

[0058] Selon une variante de l'invention, la source radiogène prévoit une disposition des triplets de telle sorte qu'ils génèrent des groupes parallèles de faisceaux X, ces groupes étant perpendiculaires les uns aux autres.

[0059] Selon une variante de l'invention, la source radiogène comporte en outre au moins un accélérateur linéaire pour accélérer les électrons émis par la source d'électrons.

[0060] Parmi les différents avantages de l'invention, on peut citer les suivants :

l'éclairement appliqué permet un asservissement unitaire du courant de chaque émetteur évitant ainsi les risques de destruction de ces émetteurs liés aux différences de hauteur des nanotubes et qu'on rencontre dans le cas d'un pilotage par une électrode ou plan conducteur dont on fait varier la tension.

[0061] Aucun groupe émissif (emitter array) n'a lieu d'être défini structurellement comme dans le cas d'un pilotage par une électrode ou plan conducteur dont on fait varier la tension, autorisant ainsi toutes définitions possibles des zones émissives engageant au moins une photocathode.

[0062] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre donnée à titre non limitatif et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

- les figures 1a, 1b illustrent des exemples de cathodes thermoioniques de l'art connu ;
- les figures 2a, 2b, 2c illustrent des exemples de cathodes thermoioniques de l'art connu comportant en outre une grille intermédiaire ;
- les figures 3a et 3b illustrent des exemples de cathodes froides selon l'art connu ;

- la figure 4 illustre un principe de source radiogène selon l'invention ;
- la figure 5 schématise une source radiogène selon l'invention relative à un monotube X de symétrie cylindrique ;
- les figures 6a et 6b illustrent un autre exemple de source radiogène selon l'invention relatif à plusieurs monotubes X disposés radialement ;
- les figures 7a, 7b, 7c et 7d illustrent un autre exemple de source radiogène selon l'invention, relatif à une enceinte renfermant plusieurs sources disposées diversement ;
- la figure 8 présente un exemple de modulation du spot électronique sur la cible uniquement lié à la zone d'éclairement (pas de grille ni « emitter array » déterminant mécaniquement les zones d'émission);
- les figures 9a et 9b illustrent la différence de réponse en courant de l'émetteur (exponentielle en présence d'une grille de commande, linéaire en présence d'une photocathode selon l'invention) ;
- les figures 10a et 10b illustrent la capacité d'activer des zones émissives locales irradiant une cible étendue ;
- la figure 11 a présente un schéma de principe de l'invention, les figures 11b, 11c, 11d, précisent des variantes de configurations de photocathodes intégrées.

[0063] De manière générale, l'invention propose la mise en oeuvre dans une même source radiogène, d'une ou plusieurs cathodes froides dont l'émission est contrôlée par un dispositif photoconducteur, ce type de dispositif peut typiquement être de type tel que celui décrit dans la demande de brevet N°04 13340.

[0064] Ainsi de manière schématique illustrée en figure 4, la source radiogène de l'invention comporte au moins un dispositif photoconducteur de commande 10, une source d'électrons 11 venant irradier une cible 12 de façon à ce que cette dernière émette un faisceau de rayons X, 13.

[0065] Ce type de découplage optique permet d'envisager des configurations de sources multiples dans une même enceinte à vide, localisées ou spatialement réparties et produisant un rayonnement X continue ou modulé temporellement suivant l'éclairement de la photo cathode.

[0066] Nous allons décrire ci-après des exemples de réalisation de sources radiogènes selon l'invention.

Premier exemple de réalisation :

[0067] Selon une première variante de l'invention, illustrée en figure 5, la source radiogène est une source mono-faisceau et comporte une enceinte sous-vide 20, des moyens d'alimentation haute tension 21 et des moyens d'isolation électrique 22, une source d'illumination 23 dirigeant un faisceau lumineux 24 en direction d'un dispositif optiquement réfléchissant 25 pour les longueurs d'onde utilisée s afin d'exciter les couches photosensibles d'une cathode 26 permettant de générer un flux d'électrons 27, en direction d'une cible 28. Le bombardement de ladite cible génère alors le flux de rayons X, 30 au travers d'une fenêtre 29 transparente auxdits rayons X dont est équipée l'enceinte. Avantageusement l'enceinte peut également être équipée de moyens de refroidissement 31 de la cible soumise à des échauffements intenses lors des opérations de bombardement par les flux d'électrons.

Deuxième exemple de réalisation :

[0068] La source radiogène comporte une multiplicité de flux de rayons X, 40i, grâce à la présence d'une série d'enceintes (tubes à rayons X) 41 i distribuées dans un support circulaire 42, ledit support circulaire comporte en outre des moyens de distribution d'une alimentation haute tension 43 comme illustré en figure 6a et 6b.

Troisième exemple de réalisation :

[0069] La source radiogène peut également être multifaisceaux et comprendre une enceinte unique comme illustré en figure 7a, 7b, 7c, 7d. Selon l'exemple représenté, ladite enceinte 50 peut avantageusement se présenter sous plusieurs formes intégrant des sources d'électrons disposés diversement. Les exemples non exhaustifs montrent une organisation convergente planaire (figure 7a), parallèle organisée circulairement (figure 7b), parallèle organisée perpendiculairement (figure 7c), parallèle organisée matriciellement (figure 7d).

[0070] La figure 8 illustre un exemple de moyens de modulation du spot électronique sur la cible uniquement lié à la zone d'éclairement (pas de grille ni « emitter array » déterminant mécaniquement les zones d'émission).

[0071] De manière générale, la présente invention propose en réponse une source radiogène comprenant une source froide d'électrons soumise à un champ électrique et fonctionnant par émission de champ, et un élément photoconducteur placé en série avec l'émetteur d'électrons de sorte que le courant photogénéré par illumination dans le dispositif photoconducteur est égal à celui de l'émetteur.

[0072] Ainsi, le courant émis est contrôlé par l'illumination, directement, et non par l'intermédiaire d'une commande en tension d'une électrode d'extraction. Cette disposition garantit une dépendance linéaire du courant d'émission avec l'illumination et un asservissement très sensible et de très bonne qualité du courant émis.

[0073] Les figures 9a et 9b illustrent la différence de réponse en courant de l'émetteur. Ainsi cette réponse est exponentielle en présence d'une grille de commande, et linéaire en présence d'une photocathode selon l'invention.

Quatrième exemple de réalisation :

[0074] Les exemples précédemment décrits sont relatifs à des sources radiogènes multi-faisceaux comportant un ensemble de sources d'électrons élémentaires associées à des cibles élémentaires.

[0075] Selon l'invention, la source radiogène multi-faisceaux peut également comprendre une source d'électrons étendue, comportant des zones d'émission d'électrons, capables d'irradier une cible étendue pour générer des faisceaux de rayons X (comme illustré en figures 10a et 10b). Ce type de source associée à des moyens de balayage peut typiquement être utilisée pour une configuration d'imagerie telle que la fluoroscopie par exemple.

[0076] Afin d'éviter les rayons diffusés, on peut être amené à privilégier un balayage rapide réalisé soit par un diaphragme mobile, soit suivant un dispositif de balayage par déviateurs électrostatiques ou magnétiques comme décrit dans le Brevet N° 00 08320 De P. De Groot « *Générateur de rayons X à balayage pour système d'imagerie susceptible de fonctionner à grande vitesse* » du 29 06 1999.

Cinquième exemple de réalisation :

[0077] La source radiogène est une source micro-foyer ou nano-foyer comportant des moyens optiques assurant une focalisation telle qu'un seul nanotube soit adressé pour générer un faisceau d'électrons. La cible irradiée par un seul nanotube fournit par voie de conséquence également un faisceau de rayons X de tache focale très petite. Le diamètre du spot de la micro ou nano source X peut être ajusté suivant la surface de la zone éclairée et ainsi permettre d'asservir le diamètre du spot en fonction de la densité de puissance admissible sur la cible. Eventuellement, un système de focalisation, magnétique ou électrostatique peut être utilisé pour concentrer sur la cible tous les électrons émis par l'extrémité du nanotube dans une tache thermique de taille comparable à celle de la surface émissive, soit de l'ordre de 10 à 100 nm de diamètre.

[0078] Ce type de source radiogène peut notamment avantageusement assurer l'accès à du contrôle non destructif de grille de transistor de circuit intégré, par exemple.

Sixième exemple de réalisation :

[0079] Les exemples précédemment décrits sont relatifs à des sources radiogènes comportant une haute tension comme moyen d'accélération des électrons. Selon l'invention, la source radiogène peut également comporter une structure accélératrice dite « linac ». associée à la source froide, un dispositif photoélectrique permettant le contrôle de l'émission d'électrons par la source froide, et une source de lumière pour commander par illumination ledit dispositif photoélectrique. Dans ce cas, l'association permet une simplification de l'accélérateur, une réduction de son volume et une amélioration de la qualité du faisceau d'électrons et du rayonnement X qu'il produit.

[0080] Les avantages spécifiques produits sont les suivants :

- une modulation temporelle initiale du faisceau à la fréquence de l'accélérateur, avec une extension en phase permettant un rendement en courant proche de 100%. La totalité du courant ainsi émis en impulsions courtes, permet une acceptance en phase maximale par l'onde hyperfréquence, sans pertes longitudinales ;
- une réduction des pertes électroniques et donc thermiques dans le linac ;
- les paquets d'électrons étant déjà produits à l'émission, la totalité des cellules de l'accélérateur est consacrée à l'accélération proprement dite du faisceau et non à une phase préliminaire de prégroupement, amenant à une simplification de la géométrie du linac, et à une réduction de sa longueur. Ainsi, les premières cavités de l'accélérateur, conventionellement dédiées à la mise en forme temporelle du faisceau peuvent être simplifiées ;
- la miniaturisation du canon, ainsi que la possibilité d'une commande du courant à haute fréquence permet son adaptation à des linacs à très haute fréquence (par exemple bande X) ;
- la courte extension en phase des paquets d'électrons produits permet de réduire la dispersion en énergie finale du faisceau ;
- avec une faible dispersion en énergie, le faisceau est aisément focalisé en sortie de l'accélérateur, permettant des sources très ponctuelles de rayonnement sur la cible de conversion ;
- l'absence d'un système de cavités de prégroupement et groupement, permet d'envisager des linacs de basse énergie (en dessous de 4 MeV) avec une bonne qualité du faisceau ;
- le contrôle du courant initial pulse à pulse, permet d'envisager des linacs à courant variable dans des applications multi-énergies pulse à pulse où une puissance faisceau constante serait nécessaire pour la qualité du rayonnement X et de l'imagerie associée.

[0081] Les figures 11a, 11b, 11c et 11d illustrent de manière détaillée un exemple de source radiogène de l'invention.

[0082] Plus précisément cette source radiogène comprend une enceinte à vide 50, des moyens 56h d'introduction d'une onde optique 56i, une source froide 52 pouvant émettre des électrons 52i dans le vide par le phénomène de l'émission de champ lorsqu'elle est soumise à un champ, une alimentation 55 fournissant une haute tension électrique, une anode 53 comprenant un matériau 53j susceptible d'émettre des rayons X, 53i sous l'effet du bombardement électronique et au moins une

fenêtre 54 permettant la sortie de rayons X, au moins une source de lumière 56 fournissant ladite onde optique.

[0083] La source froide comprend également au moins un substrat 57 muni d'au moins une surface conductrice 55, et est soumise à un champ électrique résultant de l'application de la haute tension entre au moins une surface conductrice 55 et l'anode 53; ladite source froide comprenant en outre au moins un élément photoconducteur 58 dans lequel le courant est contrôlé sensiblement linéairement par l'illumination et au moins un élément émetteur d'électrons 59, ledit élément photoconducteur 58 étant électriquement connecté en série entre au moins un élément émetteur 59 et une surface conductrice 55, de sorte que le courant photogénéré dans le dispositif photoconducteur est égal à celui émis par l'émetteur ou le groupe d'émetteurs auquel il est associé, et de sorte que le flux de rayons X émis est sensiblement linéairement dépendant de l'illumination.

Revendications

1. Source radiogène comprenant une enceinte à vide (50), des moyens (56h) d'introduction d'une onde optique (56i), une source froide (52) pouvant émettre des électrons (52i) dans le vide par le phénomène de l'émission de champ lorsqu'elle est soumise à un champ, une alimentation (55) fournissant une haute tension électrique, une anode (53) comprenant un matériau (53j) susceptible d'émettre des rayons X (53i) sous l'effet du bombardement électronique et au moins une fenêtre (54) permettant la sortie de rayons X, au moins une source de lumière (56) fournissant ladite onde optique, **caractérisée en ce que** la source froide comprend au moins un substrat (57) muni d'au moins une surface conductrice (55), et est soumise à un champ électrique résultant de l'application de la haute tension entre au moins une surface conductrice (55) et l'anode (53); ladite source froide comprenant en outre au moins un élément photoconducteur (58) dans lequel le courant est contrôlé sensiblement linéairement par l'illumination et au moins un élément émetteur d'électrons (59), ledit élément photoconducteur (58) étant électriquement connecté en série entre ledit au moins un élément émetteur (59) et une surface conductrice (55), de sorte que le courant photogénéré dans ledit élément photoconducteur est égal à celui émis par l'émetteur ou le groupe d'émetteurs auquel il est associé, et de sorte que le flux de rayons X émis est sensiblement linéairement dépendant de l'illumination.

2. Source radiogène selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'anode portant une cible est à la masse électrique, et la source froide est à une haute tension négative.

3. Source radiogène selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisée en ce que** la ou les surfaces conductrices, le ou les photoconducteurs et le ou les éléments émetteurs sont intégrés sur le substrat de manière monolithique.

4. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce qu'**au moins une source froide d'électrons est à pointes émettrices.

5. Source radiogène selon la revendication 4, **caractérisée en ce qu'**elle comprend une pointe émettrice pour former une source à rayons X ponctuelle pour l'imagerie X, haute résolution.

6. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce que** la source froide comprend au moins un substrat conducteur au moins une pointe dont le sommet est à une hauteur h par rapport au substrat conducteur et au moins un élément photoconducteur disposé entre la pointe et le substrat conducteur telle que la pointe soit éloignée de ses éventuelles voisines d'une distance d sensiblement égale ou supérieure deux fois la hauteur h, et telle que les dimensions latérales phi des éléments photoconducteurs soient environ égales ou inférieure la hauteur h.

7. Source radiogène selon l'une des revendications 4 ou 6, **caractérisée en ce que**, les émetteurs ou groupes d'émetteurs sont disposés en réseaux réguliers.

8. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisée en ce qu'**au moins une source froide d'électrons est à pointe émettrice en nanotube de carbone ou en nanofils métalliques.

9. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisée en ce que** la cible est un matériau comportant du tungstène, ou tout autre matériau réfractaire à Z élevé.

10. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisée en ce que** la cible et la fenêtre permettant la sortie des rayons X sont confondues.

11. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisée en ce qu'**au moins un desdits dispositifs photoélectrique photoconducteur est de type photodiode en semiconducteur à structure PIN où I désigne une zone intrinsèque ou non intentionnellement dopée ou faiblement dopée de type N- ou P-

12. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisée en ce que** le dispositif photoconducteur est une diode MIN ou M désigne une zone métallique,

13. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 12, **caractérisée en ce que** l'élément photoconducteur comprend une couche métallique sur au moins une de ses faces de contact.

14. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 13, **caractérisée en ce que** le substrat comprend une face dite avant supportant l'élément émetteur, la source de lumière éclairant ladite face avant.

15. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 13, **caractérisée en ce que** le substrat est transparent à ladite source de lumière, ladite source de lumière éclairant ledit substrat en face opposée à la face avant.

16. Source radiogène selon l'une des revendications 13 ou 15, **caractérisée en ce que** le substrat présente une zone amincie destinée à être illuminée, de manière à minimiser les phénomènes d'absorption dans le substrat, ladite source de lumière éclairant ledit substrat en face opposée à la face avant.

17. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 16, **caractérisée en ce qu'**elle comprend des moyens de réglage de la puissance optique de la source de lumière pour régler la puissance de rayons X générés.

18. Source radiogène selon l'une des revendications selon l'une des revendications 1 à 17, **caractérisée en ce qu'**elle comprend des moyens pour régler la focalisation de la source de lumière sur la source d'électrons.

19. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 18, **caractérisée en ce qu'**elle comprend un mono-tube X de symétrie cylindrique comportant une enceinte, renfermant une photocathode, cette photocathode étant constituée de au moins une desdites surfaces photoconductrices, de au moins un desdits photoconducteurs et de au moins un desdits éléments émetteurs intégrés sur le substrat de manière monolithique, une cible, un miroir, permettant d'illuminer la photocathode avec un faisceau lumineux pénétrant dans le mono-tube par sa paroi cylindrique.

20. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 19, **caractérisée en ce qu'**elle comprend plusieurs mono-tubes X, un support circulaire supportant lesdits mono-tubes X disposés radialement, une alimentation haute tension, des moyens de distribution de ladite alimentation haute tension sur les différents mono-tubes de manière à produire des faisceaux de rayons X, et des moyens individuels de contrôles optiques indépendants dédiés à chacun des mono-tubes.

21. Source radiogène selon la revendication 20, **caractérisée en ce que** lesdits faisceaux de contrôle optique et les faisceaux de rayons X sont tous parallèles entre eux et perpendiculaires audit support circulaire.

22. Source radiogène selon la revendication 20, **caractérisée en ce qu'**elle comprend des moyens pour faire converger lesdits faisceaux de rayons X.

23. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 18, **caractérisée en ce qu'**elle comprend une enceinte, plusieurs ensembles constitués chacun d'un couple de photocathode associée à une cible et des moyens de distribution d'alimentation desdites photocathodes.

24. Source radiogène selon la revendication 23, **caractérisée en ce que** l'enceinte présente une forme concave de manière à générer des faisceaux de rayons X convergents.

25. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 24, **caractérisée en ce qu'**elle comporte :

- la photocathode dite étendue ou l'ensemble de photocathodes ;
- la cible dite étendue ou l'ensemble de cibles, en regard respectivement de ladite photocathode étendue ou de l'ensemble de photocathodes;
- le dispositif d'adressage de l'illumination de la photocathode étendue ou de l'ensemble de photocathodes, de manière à sélectionner différentes zones au cours du temps sur la photocathode étendue ou à sélectionner différentes photocathodes dans l'ensemble de photocathodes et corrélativement rendre les zones de la cible étendue ou d'une cible parmi l'ensemble de cibles, émettrices de rayons X.

26. Source radiogène selon la revendication 25, **caractérisée en ce qu'**elle comprend un modulateur spatial et/ou temporel permettant de défléchir un faisceau issu de la source d'illumination, vers différentes zones de la photocathode étendue ou différentes photocathodes parmi un ensemble de photocathodes.

27. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 25, **caractérisée en ce que** le dispositif d'adressage est un modulateur spatial de lumière éclairé par un faisceau étendu permettant de transférer différentes lois d'éclairement sur une zone de la photocathode étendue ou sur une photocathode dans l'ensemble de photocathodes, et d'obtenir les lois correspondantes d'émission de rayons X depuis une zone de cible étendue ou sur une cible de l'ensemble de cibles.

28. Source radiogène selon la revendication 25, **caractérisée en ce qu'**elle comprend un ensemble de sources d'illumination et **en ce que** le dispositif d'adressage est un déflecteur opto-mécanique ou opto-électrique et active des sources d'illumination associées de manière biunivoque à différentes zones de la photocathode étendue ou à différentes photocathodes de l'ensemble de photocathodes, lesdites zones ou photocathodes étant associées de manière biunivoque à différentes zones de la cible étendue ou à différentes cibles parmi l'ensemble de cibles.

29. Source radiogène selon l'une des revendications 1 à 28, **caractérisée en ce qu'**elle comporte en outre au moins un accélérateur linéaire pour accélérer les électrons émis par la source d'électrons.

30. Source radiogène selon la revendication 1 à 29, **caractérisée en ce que** la distribution de puissance lumineuse est réalisée au moins pour partie par propagation guidée (fibres optiques) au lieu de propagation spatiale.

31. Source radiogène selon la revendication 1 à 30, **caractérisée en ce que** les modulateurs spatiaux sont de type à propagation guidée

32. Source radiogène selon 1 à 31, **caractérisée en ce que** l'enceinte à vide comporte des passages pour les fibres optiques

Patentansprüche

1. Radiogene Quelle, die Folgendes umfasst: ein Vakuumgehäuse (50), Mittel (56h) zum Einleiten einer optischen Welle (56i), eine kalte Quelle (52), die Elektronen (52i) in dem Vakuum über das Feldemissionsphänomen emittieren kann, wenn sie einem Feld ausgesetzt wird, eine Hochspannungsversorgung (55), eine Anode (53), die ein Material (53j) umfasst, das unter der Wirkung von elektronischer Bombardierung Röntgenstrahlen (53i) emittieren kann, und wenigstens ein Fenster (54) zum Austretenlassen von Röntgenstrahlen, wenigstens eine die optische Welle liefernde Lichtquelle (56), **dadurch gekennzeichnet, dass** die kalte Quelle wenigstens ein Substrat (57) umfasst, das mit wenigstens einer leitenden Fläche (55) ausgestattet ist und einem elektrischen Feld ausgesetzt wird, das aus dem Anlegen der Hochspannung zwischen wenigstens einer leitenden Fläche (55) und der Anode (53) resultiert; wobei die kalte Quelle ferner wenigstens ein fotoleitendes Element (58), in dem der Strom im Wesentlichen linear durch Beleuchtung geregelt wird, und wenigstens ein Element zum Emittieren von Elektronen (59) umfasst, wobei das fotoleitende Element (58) elektrisch in Serie zwischen dem wenigstens einen Emitterelement (59) und einer leitenden Fläche (55) geschaltet ist, so dass der in dem fotoleitenden Element fotogenerierte Strom gleich dem ist, der von dem/der mit ihm assoziierten Emitter oder Emittergruppe fotogeneriert wird, und so dass der Fluss von emittierten Röntgenstrahlen im Wesentlichen eine lineare Funktion der Beleuchtung ist.

2. Radiogene Quelle nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ein Ziel tragende Anode an elektrischer Masse ist und die kalte Quelle eine negative Hochspannung ist.

3. Radiogene Quelle nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die leitende(n) Fläche(n), der/die Fotoleiter und das/die Emitterelement(e) monolithisch auf dem Substrat integriert sind.

4. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine kalte Elektronenquelle emittierende Spitzen hat.

5. Radiogene Quelle nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine emittierende Spitze zum Bilden einer punktförmigen Röntgenstrahlenquelle für eine hochauflösende Röntgenbilderzeugung umfasst.

6. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die kalte Quelle wenigstens ein leitendes Substrat, wenigstens eine Spitze umfasst, deren Gipfel eine Höhe h mit Bezug auf das leitende Substrat hat, und wenigstens ein fotoleitendes Element, das zwischen der Spitze und dem leitenden Substrat angeordnet ist, so dass die Spitze von ihren eventuellen Nachbarn um eine Distanz d beabstandet ist, die im Wesentlichen gleich oder über dem Zweifachen der Höhe h ist, und so, dass die lateralen Abmessungen phi der fotoleitenden Elemente etwa gleich oder kleiner als die Höhe h sind.

7. Radiogene Quelle nach Anspruch 4 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Emitter oder Emittergruppen zu regelmäßigen Netzen angeordnet sind.

8. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine kalte Quelle von Elektronen eine emittierende Spitze aus Kohlenstoffnanoröhren oder aus metallischen Nanodrähten hat.

9. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ziel aus einem Wolfram enthaltenden Material oder aus einem ganz anderen feuerfesten Material mit erhöhtem Z-Wert ist.

10. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ziel und das Fenster, aus dem Röntgenstrahlen austreten können, miteinander übereinstimmen.

11. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine der fotoelektrischen Fotoleitvorrichtungen vom Halbleiter-Fotodiodentyp mit PIN-Struktur ist, wobei I eine intrinsische oder nicht absichtlich dotierte oder schwach dotierte Zone vom N- oder P^--Typ bedeutet.

12. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die fotoleitende Vorrichtung eine MIN-Diode ist, wobei M eine metallische Zone bezeichnet.

13. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das fotoleitende Element eine metallische Schicht auf wenigstens einer seiner Kontaktflächen umfasst.

14. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Substrat eine so genannte vordere Fläche umfasst, die das Emitterelement trägt, wobei die Lichtquelle die vordere Fläche beleuchtet.

15. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Substrat für die Lichtquelle transparent ist, wobei die Lichtquelle das Substrat auf der Fläche gegenüber der vorderen Fläche beleuchtet.

16. Radiogene Quelle nach Anspruch 13 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Substrat eine verdünnte Zone aufweist, die zum Beleuchten bestimmt ist, um Absorptionsphänomene im Substrat zu minimieren, wobei die Lichtquelle das Substrat auf der Fläche gegenüber der vorderen Fläche beleuchtet.

17. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Mittel zum Regeln der optischen Leistung der Lichtquelle zum Regeln der Leistung von erzeugten Röntgenstrahlen umfasst.

18. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Mittel zum Regeln der Fokussierung der Lichtquelle auf der Elektronenquelle umfasst.

19. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Folgendes umfasst: eine Röntgenmonoröhre mit zylindrischer Symmetrie, die ein Gehäuse um eine Fotokathode herum umfasst, wobei diese Fotokathode von wenigstens einer der fotoleitenden Flächen, von wenigstens einem der Fotoleiter und von wenigstens einem der monolithisch auf dem Substrat integrierten Emitterelemente gebildet wird, ein Ziel, einen Spiegel, der es zulässt, die Fotokathode mit einem Lichtstrahl zu beleuchten, der durch die zylindrische Wand in die Monoröhre eindringt.

20. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie mehrere Röntgenmonoröhren umfasst, wobei die radial angeordneten Röntgenmonoröhren auf einer kreisförmigen Auflage gelagert sind, eine Hochspannungsversorgung, Mittel zum Verteilen der Hochspannungsversorgung zu den verschiedenen Monoröhren, um Röntgenstrahlen zu erzeugen, und individuelle unabhängige optische Steuermittel, die für jede der Monoröhren dediziert sind.

21. Radiogene Quelle nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** die optischen Steuerstrahlen und die Röntgenstrahlen alle parallel zueinander und lotrecht zu der kreisförmigen Auflage sind.

22. Radiogene Quelle nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Mittel zum Konvergierenlassen der Röntgenstrahlen umfasst.

23. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie ein Gehäuse, mehrere, jeweils ein mit einem Ziel assozüertes Fotokathodenpaar bildende Sätze und Mittel zum Verteilen der Versorgung der Fotokathoden umfassen.

24. Radiogene Quelle nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gehäuse eine konkave Form hat, um konvergierende Röntgenstrahlen zu erzeugen.

25. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Folgendes umfasst:

- die erweiterte Fotokathode oder den Satz von Fotokathoden;
- das erweiterte Ziel oder den Satz von Zielen jeweils gegenüber der erweiterten Fotokathode oder dem Satz von Fotokathoden;
- die Vorrichtung zum Adressieren der Beleuchtung der erweiterten Fotokathode oder des Satzes von Fotokathoden, um verschiedene Zonen im Laufe der Zeit auf der erweiterten Fotokathode auszuwählen oder um verschiedene Fotokathoden in dem Satz von Fotokathoden auszuwählen und die Zonen des erweiterten Ziels oder von einem Ziel aus dem Satz von Zielen korrelativ zu Röntgenstrahlenemittern zu machen.

26. Radiogene Quelle nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie einen räumlichen und/oder zeitlichen Modulator umfasst, der eine Ablenkung eines von der Beleuchtungsquelle kommenden Strahls zu verschiedenen Zonen der erweiterten Fotokathode oder zu verschiedenen Fotokathoden aus einem Satz von Fotokathoden zulässt.

27. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Adressiervorrichtung ein räumlicher Modulator von Licht ist, beleuchtet durch einen erweiterten Strahl, der die Übertragung von verschiedenen Beleuchtungsgesetzen in einer Zone der erweiterten Fotokathode oder auf einer Fotokathode in dem Satz von Fotokathoden und das Erhalten der entsprechenden Röntgenstrahlenemissionsgesetze von einer Zone des erweiterten Ziels oder auf einem Ziel des Satzes von Zielen zulässt.

28. Radiogene Quelle nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie einen Satz von Beleuchtungsquellen umfasst, und dadurch, dass die Adressiervorrichtung ein optomechanischer oder optoelektrischer Deflektor ist und Beleuchtungsquellen aktiviert, die eineindeutig mit verschiedenen Zonen des erweiterten Ziels oder mit verschiedenen Zielen aus dem Satz von Zielen assoziiert sind.

29. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 28, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie darüber hinaus wenigstens einen linearen Beschleuniger zum Beschleunigen der von den Elektronenquellen emittierten Elektronen umfasst.

30. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 29, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verteilung von Lichtleistung wenigstens teilweise durch geleitete Ausbreitung (optische Fasern) anstelle von räumlicher Ausbreitung realisiert wird.

31. Radiogene Quelle nach einem der Ansprüche 1 bis 30, **dadurch gekennzeichnet, dass** die räumlichen Modulatoren vom geleiteten Ausbreitungstyp sind.

32. Radiogene Quelle nach 1 bis 31, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Vakuumgehäuse Kanäle für die optischen Fasern umfasst.

Claims

1. Radiogenic source comprising a vacuum chamber (50), means (56h) for introducing an optical wave (56i), a cold source (52) which can emit electrons (52i) into the vacuum via the phenomenon of field emission when it is subjected to a field, a power supply (55) which supplies a high electrical voltage, an anode (53) which comprises a material (53j) which is capable of emitting X-rays (53i) under the effect of electron bombardment and at least one aperture (54) which allows X-rays to be discharged, at least one light source (56) which supplies the optical wave, **characterised in that** the cold source comprises at least one substrate (57) which is provided with at least one conductive surface (55) and which is subjected to an electrical field which results from the application of the high voltage between at least one conductive surface (55) and the anode (53); the cold source further comprising at least one photoconductive element (58) in which the current is controlled substantially in a linear manner by the illumination and at least one electron emitter element (59), the photoconductive element (58) being electrically connected in series between said at least one emitter element (59) and a conductive surface (55) in such a manner that the current which is photogenerated in the photoconductor element is equal to that emitted by the emitter or the group of emitters with which it is associated, and in such a manner that the flux of X-rays emitted is substantially linearly dependent on the illumination.

2. Radiogenic source according to claim 1, **characterised in that** the anode carrying a target is at the electrical earth and the cold source is at a high negative voltage.

3. Radiogenic source according to either claim 1 or claim 2, **characterised in that** the conductive surface(s), the photoconductor(s) and the emitting element(s) are integrated on the substrate in a monolithic manner.

4. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 3, **characterised in that** at least one cold source of electrons has emitting tips.

5. Radiogenic source according to claim 4, **characterised in that** it comprises an emitting tip in order to form a point-like source of X-rays for high-resolution X-ray imaging.

6. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 4, **characterised in that** the cold source comprises at least one conductive substrate, at least one tip whose apex is at a height h relative to the conductive substrate and at least one photoconductive element arranged between the tip and the conductive substrate in such a manner that the tip is remote from any tips adjacent to it by a distance d which is substantially greater than or equal to two times the height h, and that the lateral dimensions phi of the photoconductive elements are approximately less than or equal to the height h.

7. Radiogenic source according to either claim 4 or 6, **characterised in that** the emitters or groups of emitters are arranged in regular networks.

8. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 7, **characterised in that** at least one cold source of electrons has an emitting tip in the form of a carbon nanotube or metal nanowires.

9. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 8, **characterised in that** the target is a material which comprises tungsten, or any other refractory material having a high Z.

10. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 9, **characterised in that** the target and the aperture which allows the X-rays to be discharged are coincident.

11. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 10, **characterised in that** at least one of the photoconductive photoelectric devices is of the semiconductor photodiode type having a PIN structure where I refers to a zone which is intrinsic or which is unintentionally doped or slightly doped of the N^- or P^- type.

12. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 10, **characterised in that** the photoconductive device is an MIN diode where M refers to a metal zone.

13. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 12, **characterised in that** the photoconductive element comprises a metal layer on at least one of the contact faces thereof.

14. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 13, **characterised in that** the substrate comprises a face which is referred to as a front face and which supports the emitting element, the light source illuminating the front face.

15. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 13, **characterised in that** the substrate is transparent with respect to the light source, the light source illuminating the substrate at the face opposite the front face.

16. Radiogenic source according to either claim 13 or claim 15, **characterised in that** the substrate has a thin zone which is intended to be illuminated in order to minimise the phenomena of absorption in the substrate, the light source illuminating the substrate at the face opposite the front face.

17. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 16, **characterised in that** it comprises means for adjusting the optical power of the light source in order to adjust the power of X-rays generated.

18. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 17, **characterised in that** it comprises means for adjusting the focusing of the light source on the electron source.

19. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 18, **characterised in that** it comprises a cylindrically symmetrical monotube X which comprises a chamber which contains a photocathode, this photocathode being constituted by at least one of the photoconductive surfaces, by at least one of the photoconductors and by at least one of the emitting elements integrated on the substrate in a monolithic manner, a target, a mirror, which allows the photocathode to be illuminated with a light beam which is introduced into the monotube via the cylindrical wall thereof.

20. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 19, **characterised in that** it comprises a plurality of monotubes X, a circular support which supports the monotubes X which are arranged radially, a high-voltage supply, means for distributing the high-voltage supply over the different monotubes in order to produce X-ray beams, and individual means for independent optical controls which are dedicated to each of the monotubes.

21. Radiogenic source according to claim 20, **characterised in that** the optical control beams and the X-ray beams are all mutually parallel and perpendicular relative to the circular support.

22. Radiogenic source according to claim 20, **characterised in that** it comprises means for converging the X-ray beams.

23. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 18, **characterised in that** it comprises a chamber, a plurality of groups which are each constituted by a photocathode pair which is associated with a target and power supply distribution means of the photocathodes.

24. Radiogenic source according to claim 23, **characterised in that** the chamber has a concave form so as to generate convergent X-ray beams.

25. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 24, **characterised in that** it comprises:

- the photocathode which is referred to as an extended photocathode or the group of photocathodes;
- the target which is referred to as an extended

target or the group of targets, opposite the extended photocathode or the group of photocathodes, respectively;
- the device for directing the illumination of the extended photocathode or the group of photocathodes, in order to select different zones over time on the extended photocathode or to select different photocathodes from the group of photocathodes and correlatively to make the zones of the extended target or a target from the group of targets emit X-rays.

26. Radiogenic source according to claim 25, **characterised in that** it comprises a spatial and/or temporal modulator which allows a beam from the illumination source to be deflected towards different zones of the extended photocathode or different photocathodes from a group of photocathodes.

27. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 25, **characterised in that** the directing device is a spatial light modulator which is illuminated by an extended beam and which allows different illumination laws to be transferred to a zone of the extended photocathode or to a photocathode from the group of photocathodes, and allows the corresponding laws of X-ray emission to be obtained from an extended target zone, or to a target from the group of targets.

28. Radiogenic source according to claim 25, **characterised in that** it comprises a group of illumination sources and **in that** the directing device is an opto-mechanical deflector or opto-electrical deflector and activates illumination sources which are associated in a one-to-one manner with different zones of the extended photocathode or with different photocathodes from the group of photocathodes, the zones or photocathodes being associated in a one-to-one manner with different zones of the extended target or with different targets from the group of targets.

29. Radiogenic source according to any one of claims 1 to 28, **characterised in that** it further comprises at least one linear accelerator in order to accelerate the electrons emitted by the electron source.

30. Radiogenic source according to claim 1 to 29, **characterised in that** the distribution of light power is produced at least partially by means of guided propagation (optical fibre) in place of spatial propagation.

31. Radiogenic source according to claim 1 to 30, **characterised in that** the spatial modulators are of the guided propagation type.

32. Radiogenic source according to claim 1 to 31, **characterised in that** the vacuum chamber comprises passages for the optical fibres.

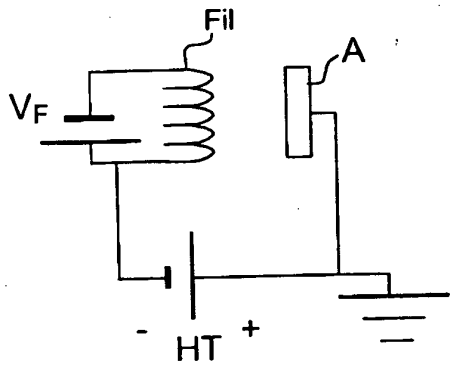


FIG.1A

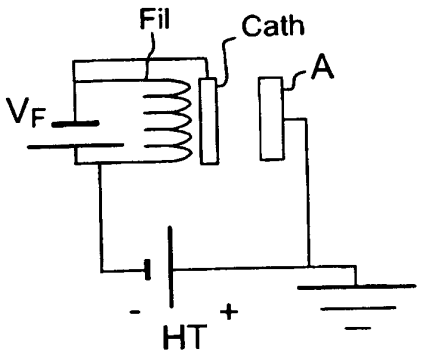


FIG.1B

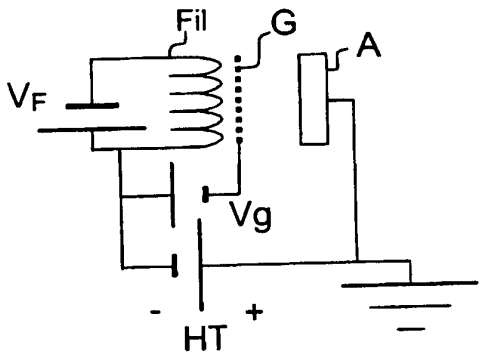


FIG.2A

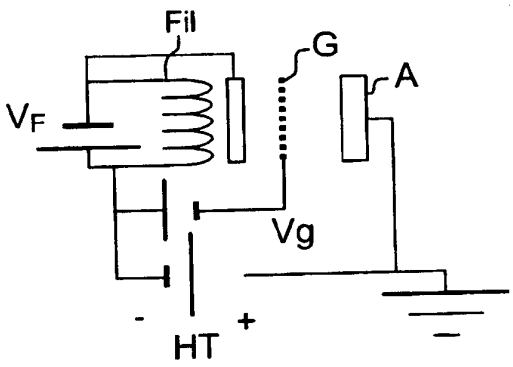


FIG.2B

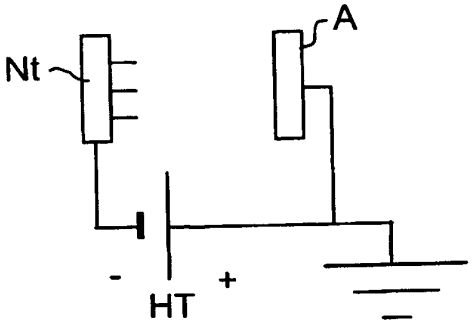


FIG.3A

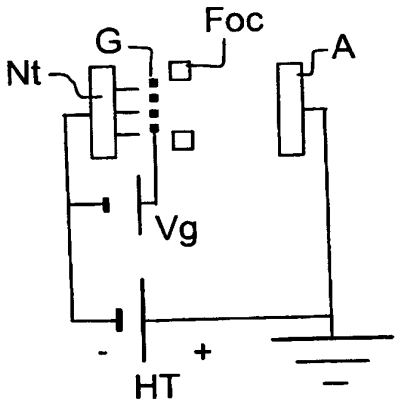


FIG.3B

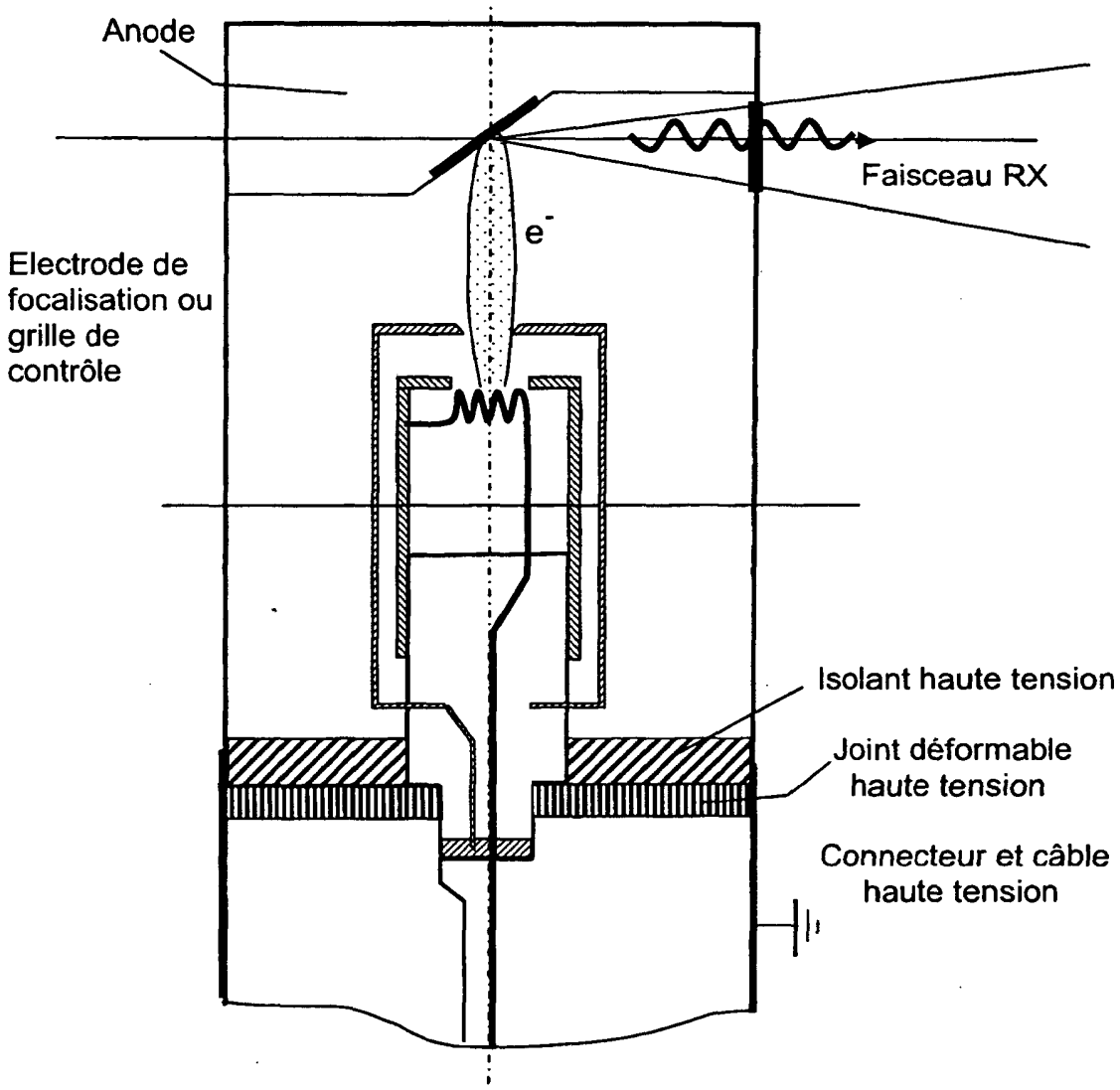

Anode
Faisceau RX
e-
Electrode de focalisation ou grille de contrôle
Isolant haute tension
Joint déformable haute tension
Connecteur et câble haute tension

FIG.2C

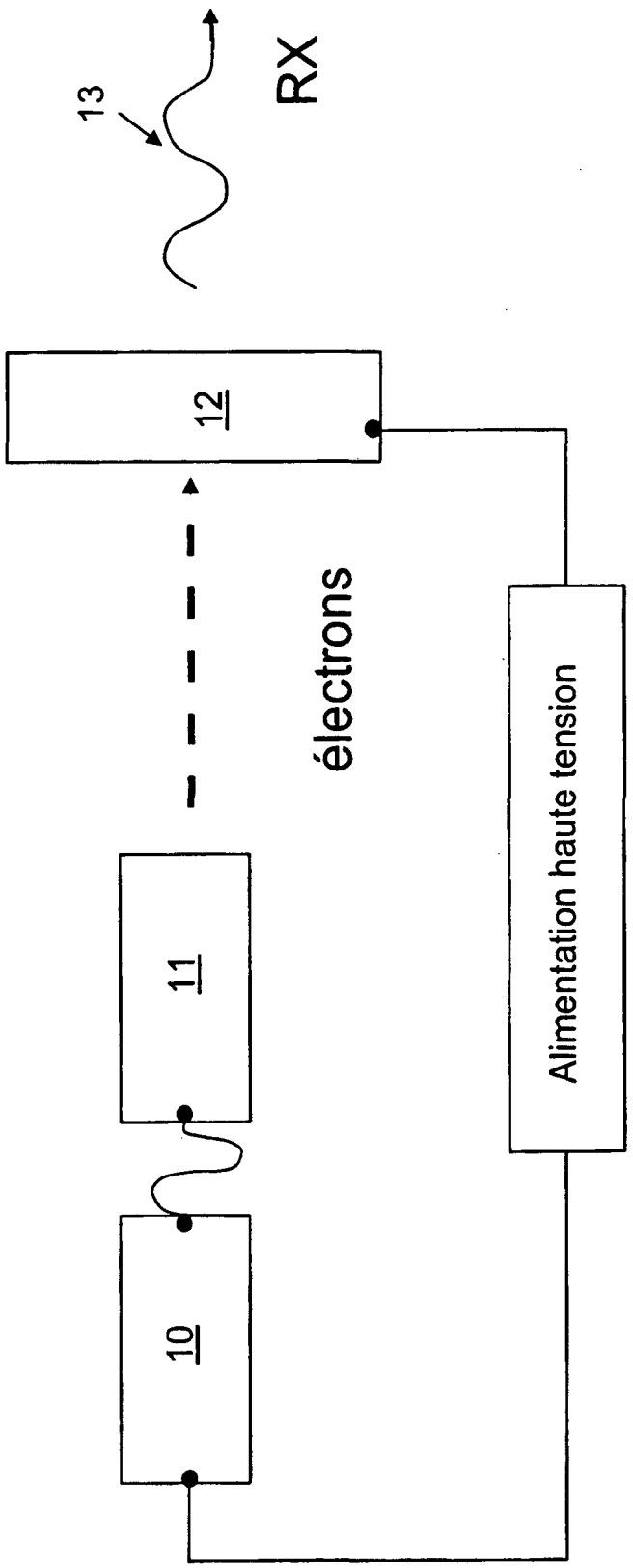


FIG.4

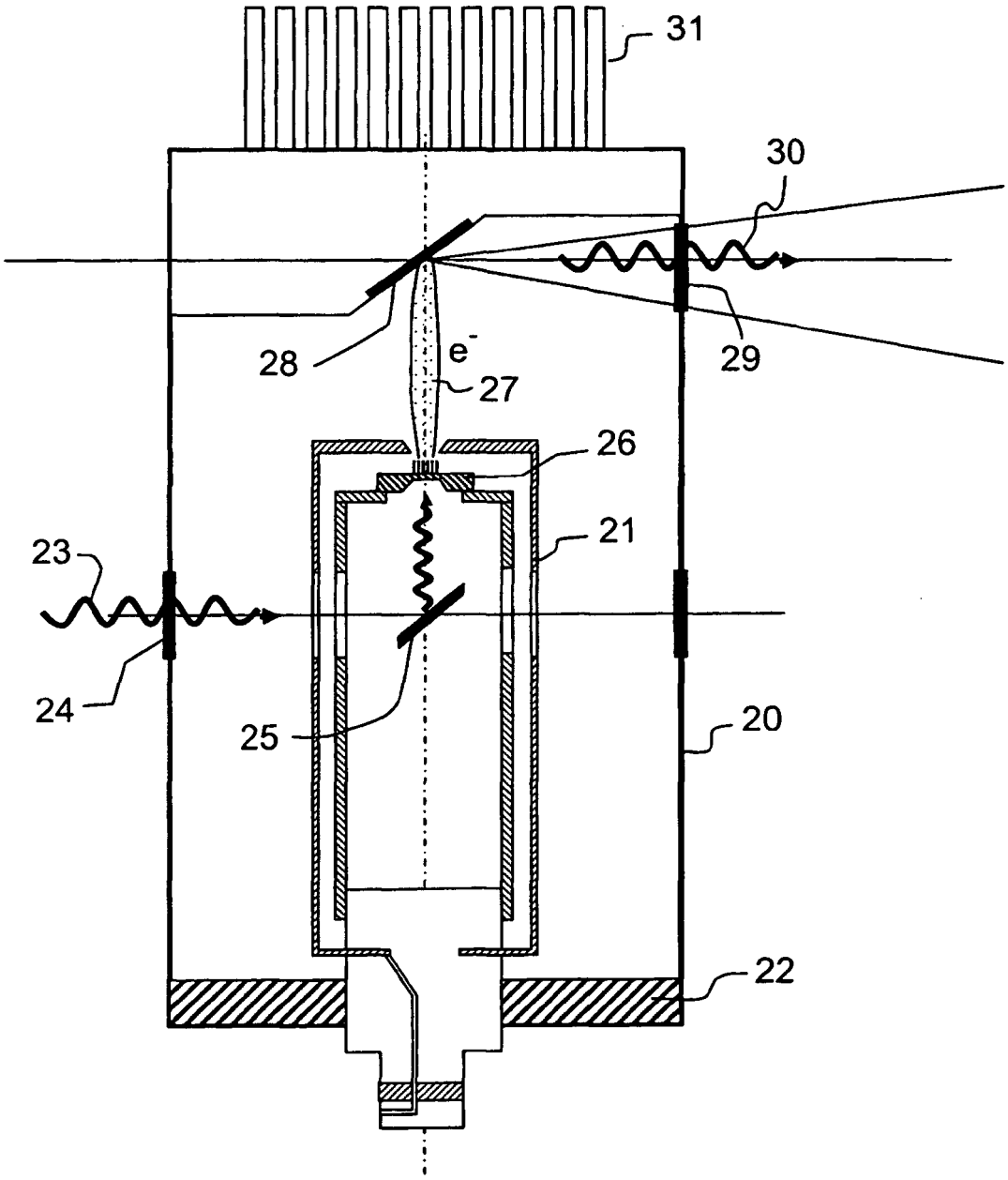


FIG.5

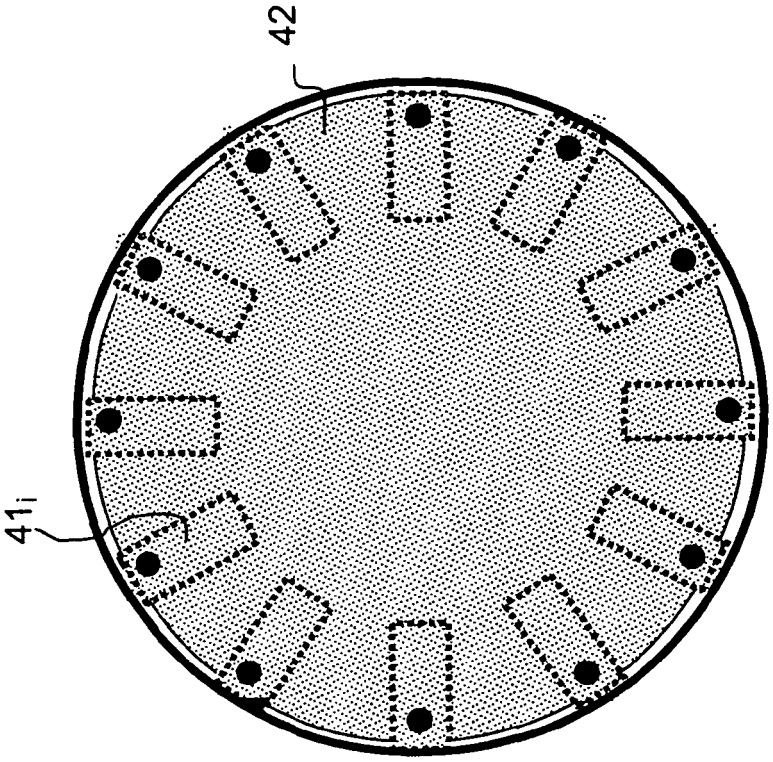


FIG.6A

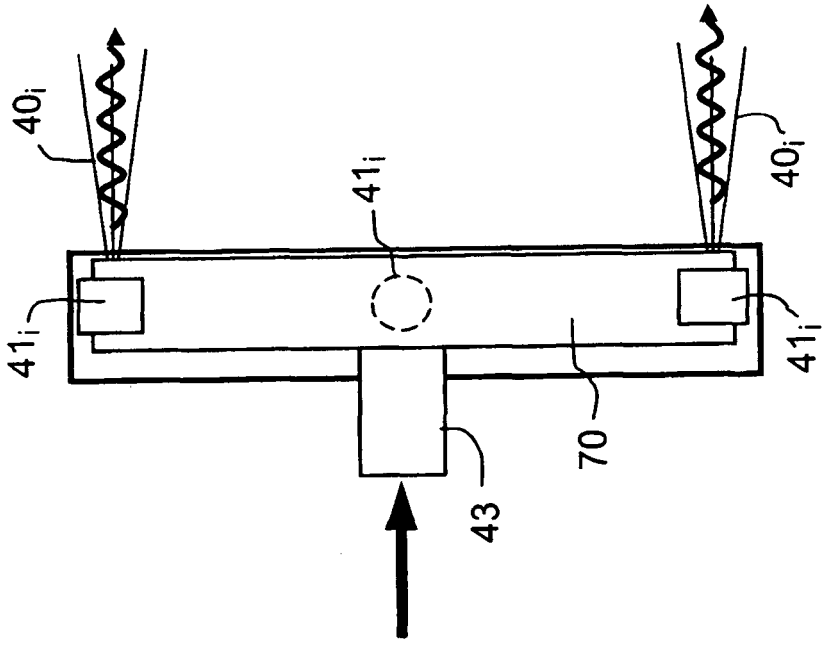


FIG.6B

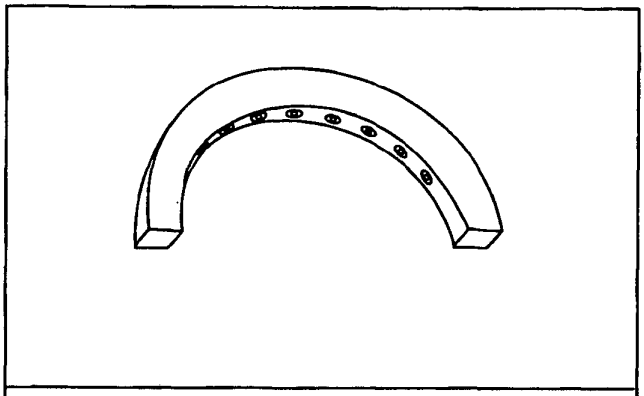


FIG.7a

Faisceaux en convergence planaire

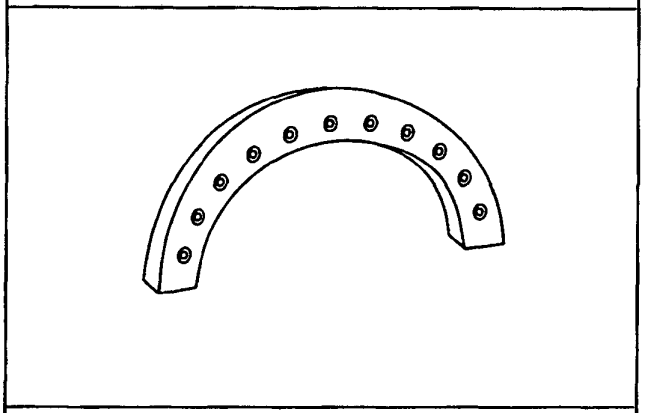


FIG.7b

Faisceaux parallèles organisés circulairement

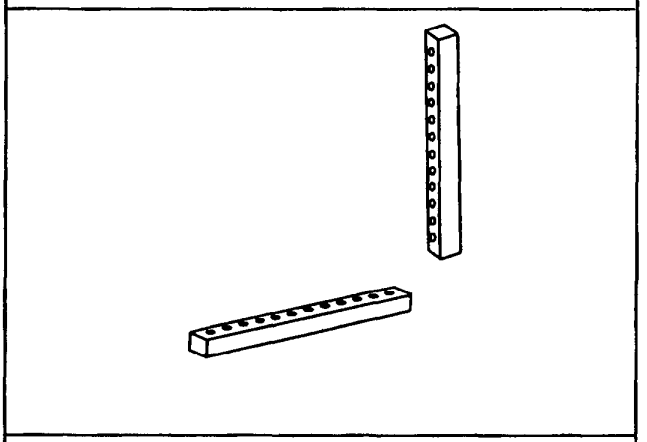


FIG.7c

Groupes de faisceaux parallèles, organisés perpendiculairement

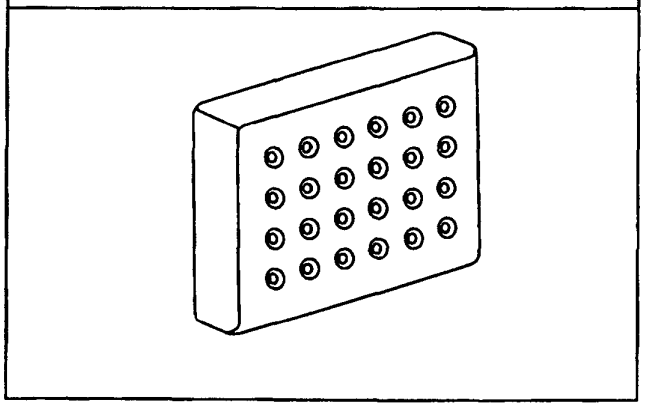


FIG.7d

Faisceaux parallèles organisés matricellement

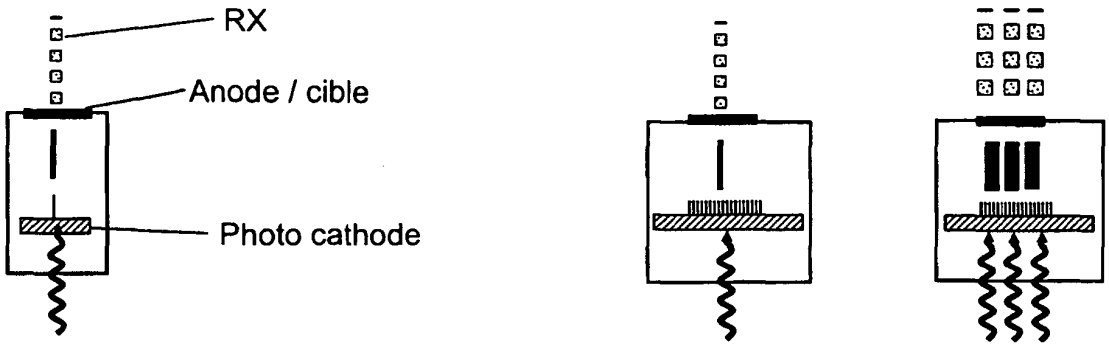


FIG.8

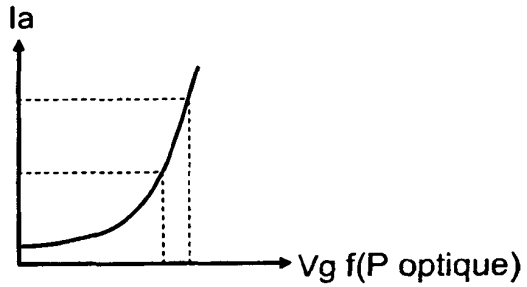


FIG.9a

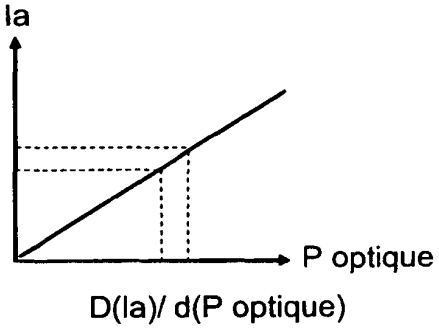


FIG.9b

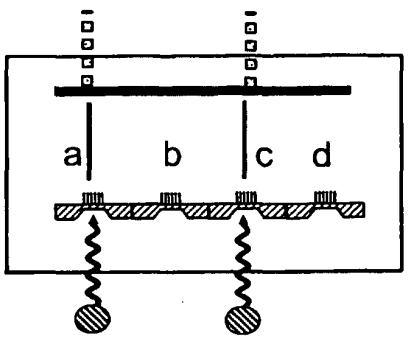


FIG.10a

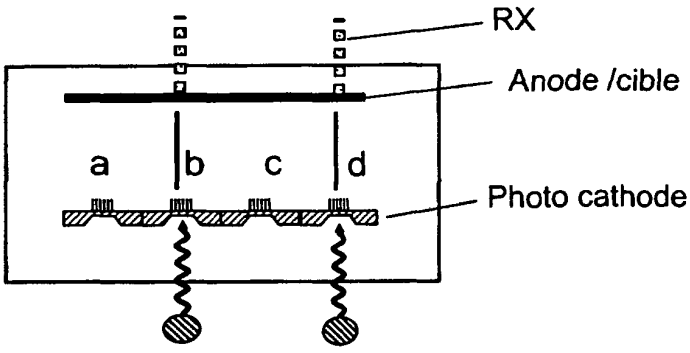


FIG.10b

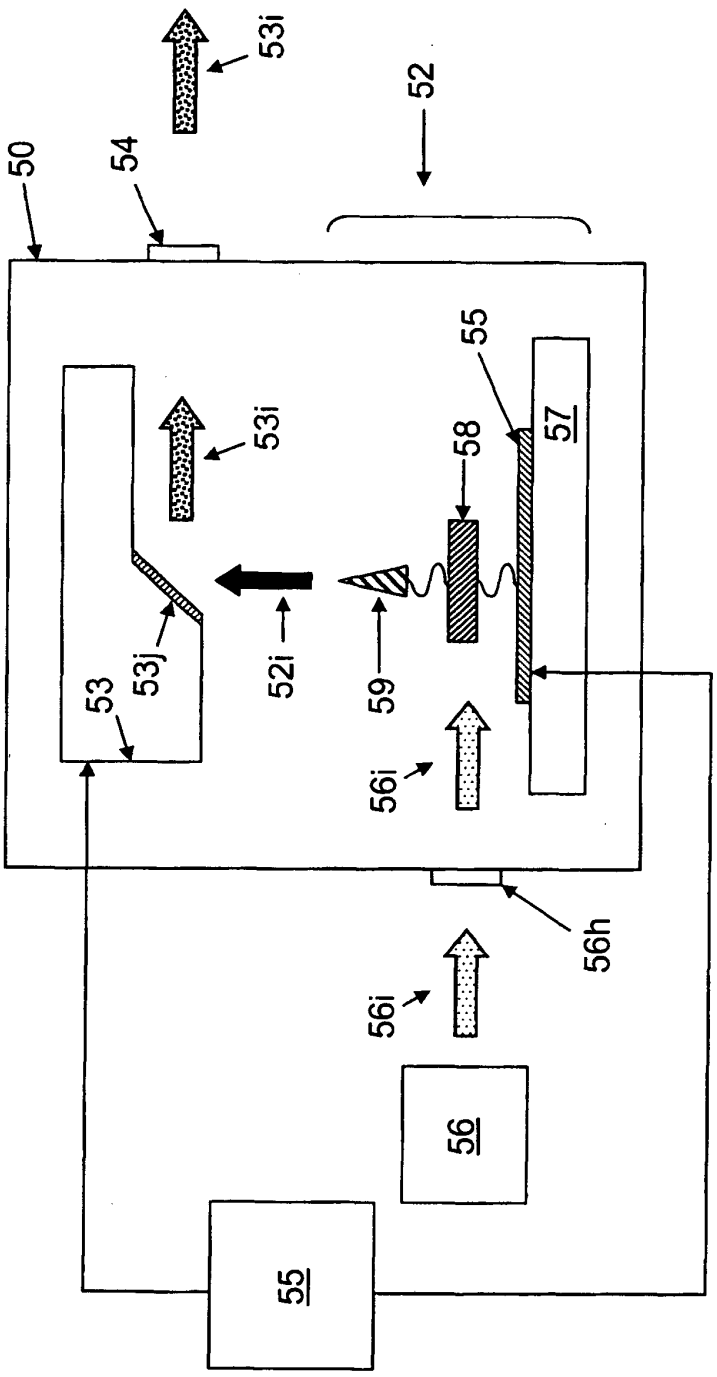


FIG.11-a

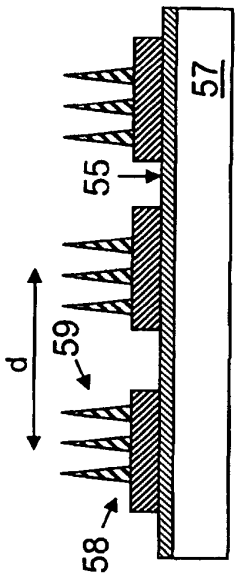


FIG.11-d

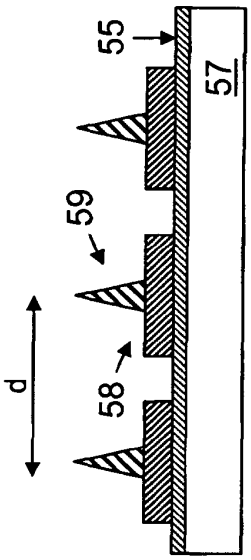


FIG.11-c

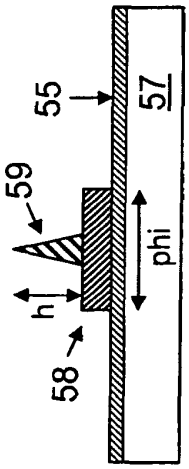


FIG.11-b

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- WO 0413340 A **[0063]**
- WO 0008320 A, De P. De Groot **[0076]**