



(11) **EP 1 249 028 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
25.04.2007 Bulletin 2007/17

(51) Int Cl.:
H01J 1/30 ^(2006.01) **H01J 9/02** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **01903954.4**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2001/000123

(22) Date de dépôt: **15.01.2001**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2001/052296 (19.07.2001 Gazette 2001/29)

(54) **CATHODE GENERATRICE D'ELECTRONS ET SON PROCEDE DE FABRICATION**
ELEKTRONENGENERIERENDE KATHODE UND HERSTELLUNGSVERFAHREN
ELECTRON GENERATING CATHODE AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(84) Etats contractants désignés:
DE ES FR GB

(30) Priorité: **14.01.2000 FR 0000472**

(43) Date de publication de la demande:
16.10.2002 Bulletin 2002/42

(73) Titulaire: **THALES ELECTRON DEVICES S.A.**
78140 Vélizy (FR)

(72) Inventeurs:
• **LEGAGNEUX, Pierre**
F-94117 Arcueil Cedex (FR)
• **PRIBAT, Didier**
F-94117 Arcueil Cedex (FR)
• **DIEUMEGARD, Dominique**
F-94117 Arcueil Cedex (FR)

(74) Mandataire: **Guérin, Michel**
Marks & Clerk France
31-33 Avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cédex (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 609 532 EP-A- 0 718 863
WO-A-96/00974 WO-A-96/25753
WO-A-96/33507 WO-A-97/07522
WO-A-99/13484 WO-A1-00/52725
US-A- 3 678 325 US-A- 4 164 680
US-A- 4 890 035 US-A- 5 744 195
US-A- 5 753 997 US-A- 5 857 882
US-A- 5 900 301 US-A- 5 945 778

• **"TRENDS AND DEVELOPMENTS OF VACUUM
MICROELECTRONICS IN EUROPE" , LE VIDE:
SCIENCE, TECHNIQUE ET APPLICATIONS,FR,
SFV, VOL. 52, NR. 282, PAGE(S) 499-516
XP000637305 ISSN: 1266-0167 page 504**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

Description pour les Etats contractants suivants : AT, BE, CH, CY, ES, LI

[0001] L'invention est relative à une cathode génératrice d'électrons ainsi qu'à un dispositif générateur d'électrons. Elle concerne aussi un procédé de fabrication de cette cathode.

[0002] On sait que certains matériaux, notamment des matériaux à base de carbone, permettent une émission d'électrons par application d'un champ faible, au plus de quelques dizaines de volts par micromètre.

[0003] Bien que l'origine de ces émissions ne soit pas clairement établie, il est communément admis que l'émission provient de sites constitués de très petites zones dont la plus grande dimension dans la surface d'émission serait de quelques nanomètres à 100 nm environ, chaque site pouvant correspondre à une transition abrupte entre un matériau à forte affinité électronique et un matériau à faible affinité électronique.

[0004] On rappelle ici que l'affinité électronique d'un matériau est une grandeur caractérisant la possibilité d'émission d'électrons à partir de la surface du matériau. Pour des matériaux à base de carbone, les transitions entre matériaux à faible et forte affinité électronique sont entre une phase sp^2 et une phase sp^3 .

[0005] Ces transitions peuvent également correspondre à des transitions entre une phase conductrice et une phase isolante ; dans le cas d'un matériau à base de carbone, la phase sp^2 est conductrice et la phase sp^3 est isolante.

[0006] Selon un premier modèle (Gröning et al. Applied Physics letters 71,2253, 1997) les sites seraient des canaux sp^2 conducteurs de taille 10 à 100 nm dans une matrice sp^3 isolante et l'émission électronique proviendrait d'un effet de pointe. Selon un second modèle (J. Robertson et al., Diamond and related materials 7, 620, 1998) un site émissif correspondrait à une variation en surface, localisée sur une distance d'environ 10 nm, de l'affinité électronique. Selon un troisième modèle (M.W. Geis et al. Nature, 393, 431, 1998) dans le diamant l'émission électronique tire son origine de jonctions triples métal/diamant/vide.

[0007] Pour augmenter l'émission électronique on cherche donc à augmenter la densité de sites d'émission. A ce jour, les meilleurs résultats fournissent des densités de sites de l'ordre de $10^6/cm^2$, c'est-à-dire $10^{-2}/\mu m^2$. Ces valeurs sont trop faibles pour obtenir des densités de courant d'émission suffisantes, au moins égales à $0,1 A/cm^2$. Par ailleurs, l'emplacement des sites émissifs n'est pas prévisible, ce qui peut constituer un inconvénient pour des applications pratiques.

[0008] Toutefois, W. Zhu et al. (Appl. Phys. Lett. 75, p. 873 1999) ont réussi à réaliser des cathodes en carbone sous forme de nanotubes avec une densité de sites émissifs de l'ordre de $10^7/cm^2$, la densité de courant obtenue étant de l'ordre de $0,5 A/cm^2$; mais, cette valeur

est encore trop faible pour que ce matériau soit utilisable en pratique.

[0009] Le procédé de fabrication d'une cathode émettrice d'électrons tel que décrit dans le document WO 96 25753 utilise une surface quelconque d'électrode dans laquelle on forme des irrégularités géométriques. Ce sont ces irrégularités qui émettent les électrons. Ce procédé est limité par la densité d'irrégularités que l'on peut obtenir et ne permet pas d'obtenir de grandes densités de courant émis par la cathode.

[0010] L'invention selon les revendications 1-32 remédie à ces inconvénients. Elle permet d'atteindre des densités de sites d'émission de l'ordre de $10^{12}/cm^2$ et donc d'augmenter de plusieurs ordres de grandeur les densités de courant.

[0011] La cathode selon l'invention est caractérisée en ce qu'elle comporte une couche ou un substrat en un matériau isolant ou à faible affinité électronique et des sites émetteurs d'électrons créés artificiellement, ces sites ayant, de préférence, une densité prédéterminée comprise entre 10^8 et $10^{13}/cm^2$. Ces sites sont créés à partir de zones à forte affinité électronique et/ou conductrices. On pense (sans que l'invention soit limitée à cette interprétation) que l'émission d'électrons (les sites) s'effectue à la transition entre les zones à forte affinité électronique et/ou conductrices et la couche ou substrat conducteur ou à faible affinité électronique. Ainsi, les sites émetteurs seraient constitués par la transition entre les zones et le reste de la couche ou substrat. Cependant, dans ce qui suit, pour simplifier, on désignera quelquefois de la même manière les sites et les zones.

[0012] Ainsi, l'invention s'écarte des voies explorées jusqu'à présent, qui consistaient à obtenir naturellement, par le choix du matériau, des densités de sites émetteurs plus élevées. L'invention permet de sélectionner le matériau dans une large gamme. Il suffit, de façon générale, que le matériau dans lequel on prévoit des sites émetteurs créés artificiellement soit isolant ou à faible affinité électronique.

[0013] Outre le degré de liberté supplémentaire qu'offre le choix du matériau, l'invention permet des densités de sites plus élevées.

[0014] De plus, l'invention permet, dans certains cas, de contrôler les emplacements des sites créés artificiellement. En effet, dans un mode de réalisation préféré, les emplacements créés artificiellement sont prédéfinis.

[0015] Selon une réalisation, les matériaux dans lesquels on crée des sites émetteurs artificiels sont choisis dans le groupe comprenant : le diamant monocristallin ou polycristallin, le carbone de structure analogue au diamant (DLC, diamond like carbon), un matériau à faible affinité électronique à base de carbone tel que ta-C ou ta-C:N, un matériau amorphe très faiblement conducteur tel que a-Si, a-C:H: ou a-SiC, un matériau à grande bande interdite tel que le nitrure d'aluminium, AlN, ou le nitrure de gallium, GaN, et un matériau isolant tel que l'oxyde de magnésium MgO ou l'oxyde de titane TiO_2 .

[0016] L'invention concerne aussi un procédé pour

réaliser une cathode conforme à l'invention.

[0017] Ce procédé est caractérisé en ce que les sites émetteurs sont réalisés soit par modification locale des propriétés de conduction d'un matériau isolant, soit par des modifications locales d'affinité électronique quand on fait appel à un matériau à faible affinité électronique. Le procédé ne nécessite pas de modification géométrique de la surface de la cathode qui peut rester localement sensiblement plane. Contrairement à d'autres réalisations utilisant comme site émetteur des zones anguleuses notamment des pointes ou des arêtes vives, la localisation des sites est indépendante de la géométrie de la surface de la cathode. Il est possible de définir de façon mathématique une surface, en l'occurrence celle de la cathode, localement sensiblement plane. Il s'agit d'une surface sensiblement continue et ne présentant pas de rupture de dérivée à l'échelle d'au moins quelques nanomètres.

[0018] Selon un mode de réalisation, la modification locale est obtenue par irradiation en surface de zones d'emplacements prédéfinis avec un faisceau électronique ou ionique de section comprise entre 1 et 100 nm.

[0019] Avantagusement, on réalise le faisceau électronique ou ionique dans une enceinte sous vide où règne une pression du type généralement utilisée dans les tubes électroniques sous vide. Cette pression est généralement inférieure à quelques $133 \cdot 10^{-5}$ Pascals (10^{-5} torr). On rappelle que le torr est une unité de pression sensiblement égale à 133 Pascals. Le torr correspond également à la pression exercée par une colonne de mercure de hauteur égale à 1 mm. En effet, plus le vide est poussé (plus la pression est faible), plus le faisceau d'électron ou d'ion sera précis. Ceci permet d'augmenter la densité des sites émetteurs d'électrons. Ceci permet également de contrôler la densité des sites émetteurs d'électrons.

[0020] L'irradiation permet d'apporter de l'énergie à la surface afin de modifier son affinité électronique. Dans le cas d'une irradiation ionique, peu importe la nature de l'ion choisi, c'est l'énergie qu'il apporte à la surface qui est déterminante.

[0021] En variante, on fait appel à des ions lourds qui fournissent des sites émetteurs artificiels avec un positionnement aléatoire. Dans ce cas, l'impact de chaque ion crée un site et la densité de sites est alors directement égale à la dose implantée. Ainsi, une dose de 10^{10} atomes/cm² induira 10^{10} sites/cm², les sites étant séparés par une distance moyenne de 10^{-5} cm, c'est-à-dire 100 nm.

[0022] En variante, les sites émetteurs sont créés à l'aide d'impulsions localisées de courant électrique. Ces impulsions modifient les propriétés de conduction de la couche ou du substrat, là où elles sont appliquées.

[0023] Quel que soit le procédé utilisé, celui-ci crée, en plus de modifications locales en surface, des modifications locales en volume, à savoir qu'on forme des canaux conducteurs.

[0024] Pour des matériaux à base de carbone de type sp³, les canaux conducteurs créés sont de type sp².

[0025] Dans un matériau amorphe très faiblement conducteur, les canaux conducteurs sont des canaux cristallins. Dans ce cas, la conduction est améliorée de plusieurs ordres de grandeur.

5 **[0026]** Les canaux conducteurs peuvent aussi être réalisés par dopage grâce à l'implantation d'atomes dopants.

[0027] Dans le cas des matériaux isolants, les canaux conducteurs sont par exemple la conséquence de la création de défauts ou d'une désoxydation localisée.

10 **[0028]** Dans un mode de réalisation, la cathode est fabriquée indépendamment de la grille d'extraction des électrons. Dans une autre réalisation, la cathode est monolithique, c'est-à-dire que cette cathode et la grille d'extraction sont fabriquées simultanément.

15 **[0029]** Dans les deux cas, la fabrication est soit de type série, soit de type parallèle. La fabrication de type série consiste à utiliser un faisceau unique balayant la surface sur laquelle on veut créer des sites émetteurs, ce faisceau étant activé aux emplacements prédéfinis. La fabrication parallèle consiste à produire simultanément une pluralité de faisceaux atteignant des emplacements prédéfinis.

20 **[0030]** Dans le cas d'une réalisation monolithique, on peut réaliser une ou plusieurs autres électrodes en même temps que la cathode et la grille d'extraction.

25 **[0031]** L'invention concerne également une triode utilisant une cathode conforme à l'invention. On a constaté qu'une telle triode pouvait être utilisée à des fréquences de l'ordre de 10 GHz alors que jusqu'à présent on avait réussi à atteindre des fréquences de 4 GHz.

30 **[0032]** D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront avec la description de certains de ses modes de réalisation, celle-ci étant effectuée en se référant aux dessins ci-annexés sur lesquels :

les figures 1 et 1a, 2, 3a à 3c, 4a à 4d, et 5a à 5c sont des schémas illustrant des procédés, conformes à l'invention, de fabrication de cathode, cette fabrication étant effectuée indépendamment de la grille d'extraction,

les figures 6a à 6b, 7a à 7c, 8a à 8d, 9a à 9d et 10a à 10d sont des schémas illustrant des procédés de fabrication, conformes à l'invention, de cathodes et de grilles d'extraction,

la figure 11 illustre une cathode conforme à l'invention avec une grille d'extraction ainsi qu'une autre électrode,

la figure 12 est un schéma d'un tube utilisant une cathode conforme à l'invention,

la figure 13 est un schéma d'un tube analogue à celui de la figure 12 mais pour une variante,

la figure 14 est un schéma d'un canon à électrons comportant une cathode conforme à l'invention,

les figures 15, 15a et 15b sont des schémas d'un tube oscillateur comportant une cathode conforme à l'invention,

la figure 16 est un schéma d'une triode comportant

une cathode conforme à l'invention, et la figure 17 est un schéma d'une triode pour une variante.

[0033] On va tout d'abord décrire en relation avec les figures 1, 1a, 2, 3a à 3c, 4a à 4d, 5a à 5c plusieurs procédés permettant de fabriquer une cathode d'émission d'électrons, cette fabrication étant effectuée indépendamment de celle de la grille d'extraction des électrons.

[0034] La fabrication peut être du type série ou du type parallèle. Les figures 1, 1a et 2 illustrent des procédés de fabrication de type série.

[0035] Dans le mode de réalisation représenté sur les figures 1 et 1a, on part d'un matériau émetteur qui, d'une façon générale, est un matériau isolant ou à faible affinité électronique, déposé sous forme de couche 20, d'épaisseur 10 à 100 nm sur un substrat conducteur 22, par exemple en silicium dopé ou bien un substrat quelconque (par exemple en verre) recouvert d'une couche métallique.

[0036] Sur la couche 20, en des emplacements prédéterminés, on focalise un faisceau électronique ou ionique 24. Ainsi, en chaque emplacement 26₁, 26₂, etc. sur lequel a été focalisé le faisceau 24, on crée des sites émetteurs d'électrons.

[0037] Les zones irradiées par le faisceau 24 ont chacune une section sensiblement circulaire de diamètre de 1 à 100 nm. Le pas entre deux zones successives est compris entre 5 et 500 nm.

[0038] De façon générale, afin d'obtenir un effet de champ optimal sur chaque site, on choisira de préférence un pas supérieur ou égal à deux fois la hauteur des canaux conducteurs, c'est-à-dire à l'épaisseur de la couche 20. Dans le cas contraire, il y aurait diminution de l'effet de pointe de chaque canal et donc une diminution du courant total émis.

[0039] Pour obtenir une zone irradiée d'un diamètre compris entre 1 et 100 nm on utilise un faisceau électronique ou ionique de même taille.

[0040] Pour créer le faisceau électronique d'irradiation, dans un exemple, on utilise un faisceau du type de celui mis en oeuvre dans un microscope électronique à transmission. Un tel faisceau permet un diamètre de l'ordre de 1 nm avec un courant de 1 nA. Dans ce cas, si le pas entre deux impacts, c'est-à-dire entre deux emplacements déterminés, est de 5 nm, on obtient des densités de sites émissifs de $4 \cdot 10^{12}/\text{cm}^2$.

[0041] Si on fait appel à un faisceau de taille de 5 nm du type de ceux fournis par les masqueurs électroniques utilisés pour la lithographie électronique à haute résolution, avec un pas de 20 nm, les densités de sites émissifs sont alors de $2,5 \cdot 10^{11}/\text{cm}^2$.

[0042] Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 2, au lieu de faire appel à un faisceau d'électrons ou à un faisceau d'ions, on utilise une pointe 30 dont la section de contact avec la couche 20 a un diamètre inférieur à 20 nm et cette pointe est associée à un générateur (non montré) d'impulsions électriques 31 qui pro-

duit les impulsions en des emplacements prédéterminés 26₁, 26₂. Chaque impulsion modifie les propriétés électriques de la couche émettrice 20, c'est-à-dire transforme les emplacements correspondants en des zones conductrices et/ou à haute affinité électronique.

[0043] Dans un exemple: la section de l'extrémité de la pointe 30 a un diamètre de 10 nm, le matériau de la couche 20 est une couche de carbone amorphe d'épaisseur 20 nm, le pas est de 50 nm et les impulsions électriques 31 ont une amplitude de 10 V.

[0044] On va maintenant décrire en relation avec les figures 3a à 3c, 4a à 4d et 5a à 5c, un procédé de fabrication d'une cathode émettrice d'électrons dans laquelle les sites sont réalisés simultanément, c'est-à-dire en parallèle.

[0045] Dans l'exemple représenté sur les figures 3a et 3c, les sites sont réalisés à l'aide de faisceaux électroniques ou ioniques.

[0046] La première étape du procédé consiste à déposer un masque de protection 32 (figure 3a) sur la couche 20. Ce masque, d'épaisseur de 100 à 1000 nm comporte des ouvertures 36 de diamètre compris entre 50 et 100 nm séparées par un pas de 200 à 500 nm. Le matériau constitutif du masque de protection 32 est par exemple une résine du type de celles couramment utilisées dans les procédés de lithographie à haute résolution. Ce matériau peut être aussi un métal lourd (par exemple le molybdène ou le tungstène) afin de bloquer les faisceaux électroniques ou ioniques de haute énergie.

[0047] Au cours d'une seconde étape (figure 3b), la couche 20 est exposée à un faisceau parallèle 34 d'ions ou d'électrons à travers les ouvertures 36 du masque 32.

[0048] On obtient ainsi des sites émetteurs d'électrons 38₁, 38₂, etc. au droit des ouvertures 36 avec une densité prédéfinie, celle des ouvertures du masque 32. Avec des ouvertures 36 de diamètre 50 à 100 nm et un pas de 200 à 500 nm, la densité de sites émetteurs peut atteindre $10^{10}/\text{cm}^2$.

[0049] Ces valeurs ne sont, bien entendu, données qu'à titre d'exemple. On peut en effet faire appel à des techniques de lithographie électronique permettant des ouvertures de diamètre de 10 nm avec un espacement minimum entre motifs compris entre 30 et 50 nm. Dans ce cas, la densité de sites émetteurs est sensiblement supérieure.

[0050] Au cours d'une dernière étape, le masque de protection 32 est éliminé, par exemple par attaque chimique. On obtient ainsi une couche 20 génératrice d'électrons (figure 3c) avec des sites émetteurs 38₁, 38₂,... créés artificiellement.

[0051] Dans une variante (non montrée), à la place d'un faisceau d'électrons ou d'ions 34, on fait appel à une irradiation avec des ions lourds (par exemple d'Antimoine ou de Xénon) ou bien des agrégats (par exemple C₆₀) éventuellement multichargés, et donc de très forte énergie par exemple de 50 MeV à 1 GeV. Dans ce cas, l'irradiation peut être effectuée directement sur la couche

20 sans faire appel à un masque 32. Les sites émetteurs ou canaux conducteurs et/ou de forte affinité électronique sont créés le long de la trace des ions ou agrégats dans le matériau de la couche 20. Dans ce cas, les sites émetteurs ne se trouvent pas en des positions prédéterminées. Toutefois, la densité de tels sites émetteurs est contrôlable par la dose d'ions lourds ou agrégats.

[0052] Dans le mode de réalisation représenté sur les figures 4a à 4d, les sites émetteurs sont réalisés en parallèle à l'aide d'un champ électrique.

[0053] Pour la mise en oeuvre de ce procédé, on dépose sur la couche 20 un masque isolant 40 (figure 4a) présentant des ouvertures de diamètre compris entre 50 et 100 nm avec un pas de 200 à 500 nm. Ce masque isolant est, par exemple, en silice ou en nitrure de silicium. Son épaisseur dépend de la tension qui sera appliquée au cours des étapes suivantes. Avec un champ de claquage de l'ordre de 500 V/ μm , une tension appliquée de 100 volts, l'épaisseur d'isolant sera de l'ordre de 300 nm.

[0054] Après le dépôt de l'isolant 40, on procède au dépôt d'une couche métallique 42 (figure 4b) d'épaisseur un micron environ. Le métal de la couche 42 remplit les ouvertures du masque isolant 40 et vient en contact, par ces ouvertures, avec la couche 20.

[0055] Après dépôt de la couche 42, on applique à cette dernière une impulsion 44, par exemple de 100 volts. Cette impulsion est, dans un exemple, appliquée pendant une durée inférieure à une seconde. La tension et la durée sont choisies de manière à modifier localement, au droit des ouvertures de la couche 40, les propriétés électriques du matériau émetteur de la couche 20 (figure 4c).

[0056] Enfin, au cours d'une dernière étape on élimine les couches 40 et 42, par exemple par attaque chimique, ce qui laisse la couche 20 nue avec des canaux conducteurs 46₁, 46₂ formant des émetteurs d'électrons.

[0057] Dans la variante représentée sur les figures 5a à 5c, au lieu de faire appel à un masque isolant 40 pour définir les sites, on utilise un réseau de pointes conductrices 50₁, 50₂, etc. formées à la surface 52 d'un substrat conducteur 54 (figure 5a). Ce réseau de pointes 50₁, 50₂, etc. est appliqué sur la surface de la couche 20 en même temps qu'on applique une impulsion électrique 56 (figure 5b) au substrat conducteur 54.

[0058] Comme dans le mode de réalisation précédemment décrit, la tension de l'impulsion 56 et sa durée sont choisies pour modifier localement, dans les sites se trouvant au droit des pointes, les propriétés de conduction du matériau émetteur de la couche 20. Comme dans le cas précédent, on obtient un réseau 46₁, 46₂, etc. de canaux conducteurs (figure 5c). La densité est égale à la densité du réseau de pointes.

[0059] On va maintenant décrire en relation avec les figures 6a et 6b, 7a à 7c, 8a à 8d, 9a à 9d et 10a à 10d, un procédé de fabrication de cathode de type monolithique consistant à fabriquer simultanément, sur un même substrat, les sources d'électrons et la grille d'extraction

de ces électrons.

[0060] Comme dans la réalisation précédemment décrite (fabrication de générateurs d'électrons indépendamment de la grille d'extraction), on peut soit faire appel à un procédé série, soit faire appel à un procédé parallèle pour la fabrication des sites émetteurs d'électrons.

[0061] Les figures 6a et 6b représentent un procédé de fabrication de type série.

[0062] Dans cet exemple, sur la couche 20 de matériau émetteur, on dépose un masque isolant 60 d'épaisseur de 100 à 500 nm ; le masque 60 est en silice ou en nitrure de silicium. Sur la couche isolante 60, on dépose un métal conducteur 62 d'épaisseur comprise entre 50 et 300 nm. La couche métallique 62 est gravée, par exemple par lithographie puis attaque chimique ou attaque ionique réactive, de façon à créer des ouvertures circulaires 66 de diamètre de 50 à 200 nm dans cette couche 62. La couche 62 est destinée à constituer la grille d'extraction.

[0063] On enlève ensuite la partie de la couche isolante 60 se trouvant au droit des ouvertures 66, par exemple par attaque chimique, de façon à créer des cavités 64 de diamètre plus important que les ouvertures 66 de façon à éviter toute interaction entre le faisceau et l'isolant, l'interaction pouvant créer des charges parasites.

[0064] Enfin, un faisceau électronique ou ionique 70 est centré sur chaque ouverture de façon à irradier le centre de la couche 20 au droit de l'ouverture 66 correspondante, ce qui crée les sites émetteurs 72₁, 72₂, etc.

[0065] Lorsque la couche 20 est isolante ou très faiblement conductrice, la couche isolante 60 n'est pas indispensable, c'est-à-dire que la grille 62 est déposée directement sur la couche 20.

[0066] Dans les modes de réalisation représentés sur les figures 7a à 7c, la fabrication des sites est du type parallèle.

[0067] Dans cet exemple, on prévoit (comme décrit en relation avec la figure 6a), sur la couche 20 de matériau émetteur, une couche isolante 60 et sur cette couche isolante, une couche conductrice 62 dans laquelle on grave des ouvertures 74 et sous laquelle on réalise, par attaque chimique, des cavités 76 de l'isolant 60. Dans ce cas, les ouvertures 74 ont un diamètre compris entre 50 et 100 nm et le pas entre deux ouvertures 74 voisines est compris entre 200 et 500 nm.

[0068] Ensuite (figure 7b), on expose la couche conductrice 62 à un faisceau parallèle 78 d'électrons ou d'ions. La direction du faisceau parallèle est perpendiculaire à la face de la couche 62. Ainsi, les ouvertures 74 constituent des diaphragmes qui permettent que le faisceau 78 atteigne seulement la couche 20 au droit des ouvertures 74. On notera que, dans ce cas, on a intérêt à limiter le diamètre des ouvertures 74 pour obtenir un positionnement correct des sites émetteurs 80₁, 90₂ sur la couche 20.

[0069] Si le diamètre des ouvertures 74 utilisées pour créer les sites 80₁, 88₂, etc. est insuffisant pour un fonctionnement normal, au cours d'une dernière étape (figure 7c), on agrandit ces ouvertures de façon à constituer des

ouvertures 84 de diamètre plus important, par exemple compris entre 100 et 200 nm.

[0070] Comme dans le mode de réalisation précédemment décrit, si le matériau de la couche 20 est isolant ou faiblement conducteur, la grille d'extraction 62 peut être déposée directement sur la couche 20.

[0071] Dans l'exemple représenté sur les figures 8a à 8d, on effectue une fabrication des sites émetteurs auto-alignés avec les ouvertures de la grille d'extraction.

[0072] A cet effet, au cours d'une première étape (figure 8a), sur la couche 20 de matériau émetteur, on dépose une couche isolante 86 sur laquelle on dépose une couche métallique 88 destinée à constituer la grille. Cette couche métallique 88 est recouverte par une couche de résine 90.

[0073] La couche de résine 90 est ensuite balayée par un faisceau électronique ou ionique 92 localisé en des emplacements prédéterminés qui crée, à travers les couches 86, 88 et 90 des sites émetteurs 94₁, 94₂, etc. par exemple espacés selon un pas de 200 à 1000 nm.

[0074] L'irradiation à l'aide du faisceau 92 crée aussi une modification de la couche de résine 90 qui peut être développée pour obtenir des ouvertures 96₁, 96₂, etc. (figure 8b) en des emplacements qui correspondent naturellement à ceux des sites émetteurs 94₁, 94₂, etc.

[0075] Ces ouvertures 96₁,... de la couche 90 de résine sont mises à profit pour réaliser des ouvertures 98₁,... dans la couche métallique 88 et des cavités 100₁ de la couche d'isolant 86, sous les ouvertures 98₁,... (figure 8c). L'illumination de la résine est utilisée pour réaliser les ouvertures 98₁,... de la grille 88.

[0076] Enfin (figure 8d), la couche de résine 90 est éliminée.

[0077] Ce procédé permet un alignement aisé des sites 94₁ avec les ouvertures 98₁ de la grille 88 d'extraction des électrons.

[0078] Comme dans les modes de réalisation précédemment décrits, si le matériau de la couche 20 est isolant ou très faiblement conducteur, on dépose la couche 88 directement sur la couche 20.

[0079] En variante, le faisceau 92 est remplacé par une multiplicité de faisceaux localisés. Le faisceau électronique ou ionique 92 peut aussi être remplacé par un faisceau à ions lourds multichargés qui fournit un positionnement aléatoire. Dans ce cas, la réalisation est de type parallèle ; elle présente le même avantage d'auto-alignement des sites et des ouvertures de la grille.

[0080] Les figures 9a à 9d illustrent un procédé de fabrication de sites émetteurs de type parallèle à l'aide d'une impulsion de tension.

[0081] Selon ce procédé, on dépose sur la couche 20 de matériau émetteur une couche isolante 104 sur laquelle on dépose une couche métallique 106 (figure 9a). La couche isolante 104 est par exemple en silice ou en nitrure de silicium. Dans les couches 104 et 106 on forme des ouvertures 108₁, 108₂, etc. de diamètre de 50 à 100 nm avec un pas de 200 à 500 nm.

[0082] L'épaisseur de la couche isolante 104 dépend

de la tension qui sera appliquée ensuite. Ainsi avec une tension de 100 volts, l'épaisseur de l'isolant est de l'ordre de 300 nm si cet isolant présente un champ de claquage de l'ordre de 500 volts/ μ m.

[0083] Après la réalisation des ouvertures 108₁, 108₂, on dépose sur la couche 106 et dans les ouvertures 108_i, une couche métallique 110 (figure 9b), et on applique une impulsion 112 (figure 9c), par exemple d'une amplitude de 100 volts et de durée inférieure à une seconde. De toute façon, la tension et la durée sont choisies de manière à modifier localement les propriétés électriques de la couche 20 afin de créer des canaux conducteurs, comme précédemment décrit.

[0084] Enfin (figure 9d), la couche métallique 110 est éliminée et sous les ouvertures de la couche métallique 106, constituant la grille d'extraction d'électrons, on forme, par attaque chimique, des cavités 114_i.

[0085] Ce procédé permet aussi un alignement correct des sites émetteurs avec les ouvertures de la grille 106.

[0086] Dans la réalisation que l'on va maintenant décrire en relation avec les figures 10a à 10d, les sites émetteurs sont réalisés par dopage d'un matériau semi-conducteur.

[0087] Ce procédé consiste à partir d'un substrat (ou couche) 120 semi-conducteur de type p monocristallin, par exemple en silicium ou en arséniure de gallium, sur lequel on forme, par épitaxie ou implantation ionique, une couche semi-conductrice intrinsèque 122. On dépose ensuite sur la couche 122 une couche isolante 124 qui est recouverte par une couche métallique 126.

[0088] Dans la couche 126, on forme, par exemple par lithographie, des ouvertures 128₁, 128₂, etc. (figure 10a) dont le diamètre est compris entre 50 et 100 nm avec un pas de 200 à 500 nm.

[0089] Après réalisation des ouvertures 128₁, 128₂, etc., on irradie, à l'aide d'un faisceau ionique parallèle 130, la couche métallique 126 avec ses ouvertures 128₁ à 128₂, ce qui permet la réalisation de canaux dopés 130₁, 130₂, etc. par implantation ionique dans la couche 122. Ces canaux dopés sont de type p (figure 10b).

[0090] De préférence, les ouvertures 128₁, 128₂ ont un diamètre relativement faible, de façon à contrôler les emplacements des zones dopées 130₁, 130₂, etc. Dans ces conditions, il peut être ensuite nécessaire d'agrandir ces ouvertures 128₁, 128₂, de façon à réaliser des ouvertures 132₁, 132₂ de plus grand diamètre (figure 10c). Dans ce cas, on fait appel à une gravure de type isotrope. Par exemple, une gravure induisant une diminution de 50 nm de l'épaisseur de la couche 126 entraînera une augmentation de 100 nm des ouvertures 132.

[0091] Après la réalisation des ouvertures 132₁, 132₂, on réalise, par exemple par attaque chimique, des cavités 134₁ sous les ouvertures 132₁ formées dans la couche isolante 124 (figure 10d).

[0092] Ce procédé permet d'obtenir des canaux dopés monocristallins qui sont autoalignés avec les ouvertures de la grille d'extraction.

[0093] La couche émettrice 20 dans laquelle on im-

plante des sites émetteurs 131_i peut être réalisée non seulement de façon simultanée avec une grille d'extraction 136, mais aussi avec au moins une autre électrode 138 (figure 11), selon des procédés analogues à ceux décrits précédemment. Ainsi, dans l'exemple représenté sur la figure 11, sur la grille 136 on a déposé un isolant 140 et l'électrode 138 est formée sur l'isolant 140. L'ouverture 142_i de l'électrode 138 est d'un diamètre sensiblement supérieur au diamètre de l'ouverture 144_i de la grille 136.

[0094] La structure représentée sur figure 11 est réalisable avec tous les types de sites émissifs précédemment décrits.

[0095] La cathode froide d'émission de champ conforme à l'invention peut être utilisée pour réaliser des tubes électroniques fonctionnant à des fréquences, notamment de l'ordre de 10 GHz.

[0096] On va maintenant décrire en relation avec les figures 12 à 17 des tubes électroniques utilisant la cathode conforme à l'invention.

[0097] La figure 12 représente un tube à sortie inductive multifaisceau à grille unique.

[0098] Ce tube comporte une cathode 150 conforme à l'invention à laquelle est associée une grille plane 152 sur laquelle on applique l'énergie haute fréquence d'entrée. La distance d entre la grille 152 et la cathode 150 peut, suivant l'invention, être choisie de façon relativement indépendante du procédé de fabrication de la cathode. Elle peut donc être suffisamment faible pour que le champ électrique d'extraction soit important au niveau de la cathode, de façon à extraire le courant voulu ; elle peut aussi être assez grande (par exemple 5 à 10 microns) pour que la capacité grille/cathode soit faible et ne court-circuite pas, ou ne perturbe pas, l'énergie hyperfréquence injectée sur la grille.

[0099] Les électrons engendrés par les sites 151_i de la cathode 150 sont aussi extraits de l'espace cathode/grille ; ils sont également modulés en courant en raison du champ hyperfréquence régnant dans cet espace. Ils sont ensuite accélérés par le champ électrique régnant entre cet ensemble et le bloc anode 154, lequel est essentiellement constitué par une cavité 154, dont le fond, plus épais, recueille la majeure partie des électrons.

[0100] Ces électrons modulés en courant et accélérés sous quelques centaines ou quelques milliers de volts cèdent alors leur énergie cinétique sous la forme d'énergie électromagnétique dans la cavité 154.

[0101] La puissance de sortie est extraite à une extrémité latérale 156 de la cavité 154.

[0102] Dans la variante représentée sur la figure 13, on prévoit une grille 158 comportant deux parties se trouvant selon deux surfaces distinctes, à savoir une partie active 160 à une distance d_2 de la surface de la cathode 150 et une seconde partie 162 comportant les parties non actives de la grille 158, à une distance d_1 de la surface 150 supérieure à la distance d_2 .

[0103] Cette structure permet, d'une part, de diminuer encore plus la capacité grille/cathode et de fonctionner

à des fréquences encore plus élevées, et, d'autre part, de rapprocher de la cathode les parties actives 160 de la grille, pour renforcer le champ électrique d'extraction et augmenter le courant ou réduire l'énergie hyperfréquence "d'entrée" injectée sur la grille.

[0104] Chaque partie active 160 de la grille est reliée à la partie inactive 162 par une partie évasée, notamment conique, 164. De préférence, la forme de ces parties évasées 164 est choisie pour éviter que les faisceaux d'électrons 170 divergent sous l'effet de la charge d'espace et pour que ces faisceaux passent bien aux endroits voulus à travers les parties actives de la grille. Ainsi, les parties évasées 164 forment un wehnelt, c'est-à-dire une lentille électronique.

[0105] La figure 14 représente un canon à électrons de type à grille unique. Dans cette réalisation, la cathode 172 est réalisée sur une surface sphérique concave, et la grille 174 présente une forme analogue. Les ouvertures de la grille 174 sont, comme décrit ci-dessus, au droit des sites émetteurs de la cathode 172.

[0106] La forme des surfaces 172 et 174 permet de créer un faisceau d'électrons convergent et donc à haute densité de courant pouvant être utilisé dans un tube hyperfréquence de structure classique, par exemple un tube à onde progressive (TOP).

[0107] Dans ce contexte, on a affaire à un canon avec une grille de commande unique 174, cette grille n'interceptant pas le faisceau. En d'autres termes, contrairement aux canons à électrons classiques, il n'est pas nécessaire de prévoir de grille formant un masque pour délimiter des zones émissives. De plus, il ne se produit pas d'émission parasite.

[0108] Enfin, la grille 174 peut recevoir des signaux de commande permettant de moduler l'émission des électrons. La modulation du faisceau est alors effectuée dans le générateur d'électrons, alors qu'habituellement la génération et la modulation s'effectuent avec deux dispositifs distincts.

[0109] La figure 15 représente un tube oscillateur comprenant une cathode conforme à l'invention. Ce tube oscillateur est du type monotron. Les électrons 182 sortant de l'espace cathode/grille rentrent aussitôt dans une cavité résonnante 180 où ils sont accélérés par une tension continue V_{KA} , appliquée entre le fond de la cavité et la cathode. Si le temps de séjour t de ces électrons dans la cavité est grand et tel que, approximativement, $2n\pi < 2nFt < (2n + 1)\pi$, il y a oscillation à la fréquence F , pour autant que la cavité résonne à cette fréquence F , ou à une fréquence proche de F .

[0110] En variante, on prévoit, comme dans l'exemple de la figure 12, que les électrons sont accélérés dans un espace grille/cavité et traversent la cavité à vitesse constante, en l'absence d'interactions.

[0111] Dans cette variante, comme dans la réalisation représentée sur la figure 15, quand il y a oscillation, la fréquence est en étroite relation avec le temps de séjour t , suivant la relation ci-dessus.

[0112] Les dimensions de la cavité et son antenne de

couplage 189 sont telles que le mode de résonance présente des composantes importantes de champ électrique parallèle aux faisceaux et localisées à l'endroit où passent ces faisceaux. Si la cavité est rectangulaire (figure 15a), le mode sera, par exemple, un mode

$TE_{xyz}^{\otimes}$, avec $x = 1$, $y = 0$ et $z = k$ (entier), l'axe y étant parallèle aux faisceaux et les axes x , y et z étant perpendiculaires entre eux. Si la cavité est cylindrique (figure 15b), le mode sera, par exemple, un mode $TM_{\theta rz}^{\circ}$ avec $\theta = 0$, $r = 1$ et $z = 0$, l'axe z étant parallèle aux faisceaux.

[0113] Dans cette réalisation, on prévoit d'appliquer une tension de polarisation 184 sur une grille 186, ainsi qu'une tension réglable 188 sur l'anode 190. La tension réglable 188 permet de régler la vitesse des électrons et donc le temps t , soit la fréquence de fonctionnement du tube oscillateur.

[0114] La figure 16 représente une triode à large bande utilisant une cathode conforme à l'invention. La configuration de cette triode est analogue à celle du tube représenté sur la figure 15, mais s'en distingue par le fait que le montage est de type amplificateur.

[0115] La configuration de la triode est telle que le faisceau d'électrons 196 traverse une zone de maximum du champ électrique à une fréquence f donnée. Le réglage de la fréquence f est obtenu, notamment, par des courts-circuits hyperfréquences 198.

[0116] Dans la variante représentée sur la figure 17, la cathode conforme à l'invention est utilisée aussi pour constituer une triode amplificatrice à large bande. Dans ce cas, la distance entre la grille 202 et la cathode 204 est variable ; la surface émettrice de chaque site émetteur 206 de la cathode 204 et la densité de ces sites est fonction de la distance cathode-grille à l'endroit où se trouvent ces sites. Lorsque la distance grille-cathode est grande, les sites sont larges mais très espacés, l'espace entre deux sites correspondant à une demi-longueur d'onde. Au contraire, lorsque la distance grille-cathode est faible, les sites sont petits mais peu espacés et donc denses. De cette façon, la densité de courant émise reste la même.

[0117] La distance variable entre cathode 204 et grille 202 permet une bande large. La distance la plus faible correspond à un fonctionnement aux plus hautes fréquences et la distance la plus élevée, aux fréquences les plus basses.

[0118] L'invention peut également être utilisée pour des applications d'affichage.

[0119] L'invention concerne de façon générale un procédé de fabrication d'une cathode émettrice d'électrons qui est caractérisé en ce qu'on part d'un matériau émetteur isolant ou à faible affinité électronique et en ce qu'on définit artificiellement des sites émetteurs par création localisée de zones à forte affinité électronique et/ou conductrices.

[0120] Dans un exemple, les sites créés artificiellement constituent, en volume, des canaux conducteurs.

[0121] Dans ce cas, il est préférable de que le rapport entre la hauteur d'un site et le pas entre deux sites soit inférieur ou égal à 0,5.

[0122] L'invention se rapporte aussi à un dispositif émetteur d'électrons comprenant une cathode émissive et une grille qui est caractérisé en ce que la cathode émissive présente des sites émetteurs d'électrons séparés les uns des autres et créés artificiellement et en ce que la grille d'extraction des électrons comporte des ouvertures en face des sites.

[0123] Selon un mode de réalisation, la distance séparant la grille de la surface émissive (204) de la cathode est variable.

[0124] Dans ce cas, de préférence, la densité de sites émetteurs sur la cathode varie en sens inverse de la distance à la grille.

[0125] Dans ce mode de réalisation, il est avantageux que la densité de courant émise soit constante quelle que soit la distance de la grille à la surface émissive.

Description pour les Etats contractants suivants : FR, GB, DE

[0126] L'invention est relative à une cathode génératrice d'électrons ainsi qu'à un dispositif générateur d'électrons. Elle concerne aussi un procédé de fabrication de cette cathode.

[0127] On sait que certains matériaux, notamment des matériaux à base de carbone, permettent une émission d'électrons par application d'un champ faible, au plus de quelques dizaines de volts par micromètre.

[0128] Bien que l'origine de ces émissions ne soit pas clairement établie, il est communément admis que l'émission provient de sites constitués de très petites zones dont la plus grande dimension dans la surface d'émission serait de quelques nanomètres à 100 nm environ, chaque site pouvant correspondre à une transition abrupte entre un matériau à forte affinité électronique et un matériau à faible affinité électronique.

[0129] On rappelle ici que l'affinité électronique d'un matériau est une grandeur caractérisant la possibilité d'émission d'électrons à partir de la surface du matériau. Pour des matériaux à base de carbone, les transitions entre matériaux à faible et forte affinité électronique sont entre une phase sp^2 et une phase sp^3 .

[0130] Ces transitions peuvent également correspondre à des transitions entre une phase conductrice et une phase isolante ; dans le cas d'un matériau à base de carbone, la phase sp^2 est conductrice et la phase sp^3 est isolante.

[0131] Selon un premier modèle (Gröning et al. Applied Physics letters 71,2253, 1997) les sites seraient des canaux sp^2 conducteurs de taille 10 à 100 nm dans une matrice sp^3 isolante et l'émission électronique proviendrait d'un effet de pointe. Selon un second modèle (J. Robertson et al., Diamond and related materials 7,

620, 1998) un site émissif correspondrait à une variation en surface, localisée sur une distance d'environ 10 nm, de l'affinité électronique. Selon un troisième modèle (M.W. Geis et al. Nature, 393, 431, 1998) dans le diamant l'émission électronique tire son origine de jonctions triples métal/diamant/vide.

[0132] Pour augmenter l'émission électronique on cherche donc à augmenter la densité de sites d'émission. A ce jour, les meilleurs résultats fournissent des densités de sites de l'ordre de $10^6/\text{cm}^2$, c'est-à-dire $10^{-2}/\mu\text{m}^2$. Ces valeurs sont trop faibles pour obtenir des densités de courant d'émission suffisantes, au moins égales à 0,1 A/cm². Par ailleurs, l'emplacement des sites émissifs n'est pas prévisible, ce qui peut constituer un inconvénient pour des applications pratiques.

[0133] Toutefois, W. Zhu et al. (Appl. Phys. Lett. 75, p. 873 1999) ont réussi à réaliser des cathodes en carbone sous forme de nanotubes avec une densité de sites émissifs de l'ordre de $10^7/\text{cm}^2$, la densité de courant obtenue étant de l'ordre de 0,5 A/cm² ; mais, cette valeur est encore trop faible pour que ce matériau soit utilisable en pratique.

[0134] Le procédé de fabrication d'une cathode émettrice d'électrons tel que décrit dans le document WO 96 25753 utilise une surface quelconque d'électrode dans laquelle on forme des irrégularités géométriques. Ce sont ces irrégularités qui émettent les électrons. Ce procédé est limité par la densité d'irrégularités que l'on peut obtenir et ne permet pas d'obtenir de grandes densités de courant émis par la cathode.

[0135] L'invention selon les revendications 1-31 remédie à ces inconvénients. Elle permet d'atteindre des densités de sites d'émission de l'ordre de $10^{12}/\text{cm}^2$ et donc d'augmenter de plusieurs ordres de grandeur les densités de courant.

[0136] La cathode selon l'invention est caractérisée en ce qu'elle comporte une couche ou un substrat en un matériau isolant ou à faible affinité électronique et des sites émetteurs d'électrons créés artificiellement, ces sites ayant, de préférence, une densité prédéterminée comprise entre 10^8 et $10^{13}/\text{cm}^2$. Ces sites sont créés à partir de zones à forte affinité électronique et/ou conductrices. On pense (sans que l'invention soit limitée à cette interprétation) que l'émission d'électrons (les sites) s'effectue à la transition entre les zones à forte affinité électronique et/ou conductrices et la couche ou substrat conducteur ou à faible affinité électronique. Ainsi, les sites émetteurs seraient constitués par la transition entre les zones et le reste de la couche ou substrat. Cependant, dans ce qui suit, pour simplifier, on désignera quelquefois de la même manière les sites et les zones.

[0137] Ainsi, l'invention s'écarte des voies explorées jusqu'à présent, qui consistaient à obtenir naturellement, par le choix du matériau, des densités de sites émetteurs plus élevées. L'invention permet de sélectionner le matériau dans une large gamme. Il suffit, de façon générale, que le matériau dans lequel on prévoit des sites émetteurs créés artificiellement soit isolant ou à faible affinité

électronique.

[0138] outre le degré de liberté supplémentaire qu'offre le choix du matériau, l'invention permet des densités de sites plus élevées.

5 **[0139]** De plus, l'invention permet, dans certains cas, de contrôler les emplacements des sites créés artificiellement. En effet, dans un mode de réalisation préféré, les emplacements créés artificiellement sont prédéfinis.

10 **[0140]** Selon une réalisation, les matériaux dans lesquels on crée des sites émetteurs artificiels sont choisis dans le groupe comprenant : le diamant monocristallin ou polycristallin, le carbone de structure analogue au diamant (DLC, diamond like carbon), un matériau à faible affinité électronique à base de carbone tel que ta-C ou ta-C:N, un matériau amorphe très faiblement conducteur tel que a-Si, a-C:H: ou a-SiC, un matériau à grande bande interdite tel que le nitrure d'aluminium, AlN, ou le nitrure de gallium, GaN, et un matériau isolant tel que l'oxyde de magnésium MgO ou l'oxyde de titane TiO₂.

20 **[0141]** L'invention concerne aussi un procédé pour réaliser une cathode conforme à l'invention.

[0142] Ce procédé est caractérisé en ce que les sites émetteurs sont réalisés soit par modification locale des propriétés de conduction d'un matériau isolant, soit par 25 des modifications locales d'affinité électronique quand on fait appel à un matériau à faible affinité électronique. Le procédé ne nécessite pas de modification géométrique de la surface de la cathode qui reste localement sensiblement plane. Contrairement à d'autres réalisations utilisant comme site émetteur des zones anguleuses notamment des pointes ou des arêtes vives, la localisation des sites est indépendante de la géométrie de la surface de la cathode. Il est possible de définir de façon mathématique une surface, en l'occurrence celle de la cathode, 30 localement sensiblement plane. Il s'agit d'une surface sensiblement continue et ne présentant pas de rupture de dérivée à l'échelle d'au moins quelques nanomètres.

35 **[0143]** Selon un mode de réalisation, la modification locale est obtenue par irradiation en surface de zones d'emplacements prédéfinis avec un faisceau électronique de section comprise entre 1 et 100 nm.

40 **[0144]** Avantagusement, on réalise le faisceau électronique dans une enceinte sous vide où règne une pression du type généralement utilisée dans les tubes électroniques sous vide. Cette pression est généralement inférieure à quelques $133 \cdot 10^{-5}$ Pascals (10^{-5} torr). On rappelle que le torr est une unité de pression sensiblement égale à 133 Pascals. Le torr correspond également à la pression exercée par une colonne de mercure de hauteur 45 égale à 1 mm. En effet, plus le vide est poussé (plus la pression est faible), plus le faisceau d'électron sera précis. Ceci permet d'augmenter la densité des sites émetteurs d'électrons. Ceci permet également de contrôler la densité des sites émetteurs d'électrons.

50 **[0145]** L'irradiation permet d'apporter de l'énergie à la surface afin de modifier son affinité électronique. Dans le cas d'une irradiation ionique, peu importe la nature de l'ion choisi, c'est l'énergie qu'il apporte à la surface qui

est déterminante.

[0146] En variante, on fait appel à des ions lourds qui fournissent des sites émetteurs artificiels avec un positionnement aléatoire. Dans ce cas, l'impact de chaque ion crée un site et la densité de sites est alors directement égale à la dose implantée. Ainsi, une dose de 10^{10} atomes/cm² induira 10^{10} sites/cm², les sites étant séparés par une distance moyenne de 10^{-5} cm, c'est-à-dire 100 nm.

[0147] En variante, les sites émetteurs sont créés à l'aide d'impulsions localisées de courant électrique. Ces impulsions modifient les propriétés de conduction de la couche ou du substrat, là où elles sont appliquées.

[0148] Quel que soit le procédé utilisé, celui-ci crée, en plus de modifications locales en surface, des modifications locales en volume, à savoir qu'on forme des canaux conducteurs.

[0149] Pour des matériaux à base de carbone de type sp³, les canaux conducteurs créés sont de type sp².

[0150] Dans un matériau amorphe très faiblement conducteur, les canaux conducteurs sont des canaux cristallins. Dans ce cas, la conduction est améliorée de plusieurs ordres de grandeur.

[0151] Les canaux conducteurs peuvent aussi être réalisés par dopage grâce à l'implantation d'atomes dopants.

[0152] Dans le cas des matériaux isolants, les canaux conducteurs sont par exemple la conséquence de la création de défauts ou d'une désoxydation localisée.

[0153] Dans un mode de réalisation, la cathode est fabriquée indépendamment de la grille d'extraction des électrons. Dans une autre réalisation, la cathode est monolithique, c'est-à-dire que cette cathode et la grille d'extraction sont fabriquées simultanément.

[0154] Dans les deux cas, la fabrication est soit de type série, soit de type parallèle. La fabrication de type série consiste à utiliser un faisceau unique balayant la surface sur laquelle on veut créer des sites émetteurs, ce faisceau étant 6 activé aux emplacements prédéfinis. La fabrication parallèle consiste à produire simultanément une pluralité de faisceaux atteignant des emplacements prédéfinis.

[0155] Dans le cas d'une réalisation monolithique, on peut réaliser une ou plusieurs autres électrodes en même temps que la cathode et la grille d'extraction.

[0156] L'invention concerne également une triode utilisant une cathode conforme à l'invention. On a constaté qu'une telle triode pouvait être utilisée à des fréquences de l'ordre de 10 GHz alors que jusqu'à présent on avait réussi à atteindre des fréquences de 4 GHz.

[0157] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront avec la description de certains de ses modes de réalisation, celle-ci étant effectuée en se référant aux dessins ci-annexés sur lesquels :

les figures 1 et 1a, 2, 3a à 3c, 4a à 4d, et 5a à 5c sont des schémas illustrant des procédés, conformes à l'invention, de fabrication de cathode, cette fabrica-

tion étant effectuée indépendamment de la grille d'extraction,

les figures 6a à 6b, 7a à 7c, 8a à 8d, 9a à 9d et 10a à 10d sont des schémas illustrant des procédés de fabrication, conformes à l'invention, de cathodes et de grilles d'extraction,

la figure 11 illustre une cathode conforme à l'invention avec une grille d'extraction ainsi qu'une autre électrode,

la figure 12 est un schéma d'un tube utilisant une cathode conforme à l'invention,

la figure 13 est un schéma d'un tube analogue à celui de la figure 12 mais pour une variante,

la figure 14 est un schéma d'un canon à électrons comportant une cathode conforme à l'invention,

les figures 15, 15a et 15b sont des schémas d'un tube oscillateur comportant une cathode conforme à l'invention,

la figure 16 est un schéma d'une triode comportant une cathode conforme à l'invention, et

la figure 17 est un schéma d'une triode pour une variante.

[0158] On va tout d'abord décrire en relation avec les figures 1, 1a, 2, 3a à 3c, 4a à 4d, 5a à 5c plusieurs procédés permettant de fabriquer une cathode d'émission d'électrons, cette fabrication étant effectuée indépendamment de celle de la grille d'extraction des électrons.

[0159] La fabrication peut être du type série ou du type parallèle. Les figures 1, 1a et 2 illustrent des procédés de fabrication de type série.

[0160] Dans le mode de réalisation représenté sur les figures 1 et 1a, on part d'un matériau émetteur qui, d'une façon générale, est un matériau isolant ou à faible affinité électronique, déposé sous forme de couche 20, d'épaisseur 10 à 100 nm sur un substrat conducteur 22, par exemple en silicium dopé ou bien un substrat quelconque (par exemple en verre) recouvert d'une couche métallique.

[0161] Sur la couche 20, en des emplacements prédéterminés, on focalise un faisceau électronique ou ionique 24. Ainsi, en chaque emplacement 26₁, 26₂, etc. sur lequel a été focalisé le faisceau 24, on crée des sites émetteurs d'électrons.

[0162] Les zones irradiées par le faisceau 24 ont chacune une section sensiblement circulaire de diamètre de 1 à 100 nm. Le pas entre deux zones successives est compris entre 5 et 500 nm.

[0163] De façon générale, afin d'obtenir un effet de champ optimal sur chaque site, on choisira de préférence un pas supérieur ou égal à deux fois la hauteur des canaux conducteurs, c'est-à-dire à l'épaisseur de la couche 20. Dans le cas contraire, il y aurait diminution de l'effet de pointe de chaque canal et donc une diminution du courant total émis.

[0164] Pour obtenir une zone irradiée d'un diamètre compris entre 1 et 100 nm on utilise un faisceau électronique ou ionique de même taille.

[0165] Pour créer le faisceau électronique d'irradiation, dans un exemple, on utilise un faisceau du type de celui mis en oeuvre dans un microscope électronique à transmission. Un tel faisceau permet un diamètre de l'ordre de 1 nm avec un courant de 1 nA. Dans ce cas, si le pas entre deux impacts, c'est-à-dire entre deux emplacements déterminés, est de 5 nm, on obtient des densités de sites émissifs de $4.10^{12}/\text{cm}^2$.

[0166] Si on fait appel à un faisceau de taille de 5 nm du type de ceux fournis par les masqueurs électroniques utilisés pour la lithographie électronique à haute résolution, avec un pas de 20 nm, les densités de sites émissifs sont alors de $2,5 \times 10^{11}/\text{cm}^2$.

[0167] Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 2, au lieu de faire appel à un faisceau d'électrons, on utilise une pointe 30 dont la section de contact avec la couche 20 a un diamètre inférieur à 20 nm et cette pointe est associée à un générateur (non montré) d'impulsions électriques 31 qui produit les impulsions en des emplacements prédéterminés 26₁, 26₂. Chaque impulsion modifie les propriétés électriques de la couche émettrice 20, c'est-à-dire transforme les emplacements correspondants en des zones conductrices et/ou à haute affinité électronique.

[0168] Dans un exemple : la section de l'extrémité de la pointe 30 a un diamètre de 10 nm, le matériau de la couche 20 est une couche de carbone amorphe d'épaisseur 20 nm, le pas est de 50 nm et les impulsions électriques 31 ont une amplitude de 10 V.

[0169] On va maintenant décrire en relation avec les figures 3a à 3c, 4a à 4d et 5a à 5c, un procédé de fabrication d'une cathode émettrice d'électrons dans laquelle les sites sont réalisés simultanément, c'est-à-dire en parallèle.

[0170] Dans l'exemple représenté sur les figures 3a et 3c, les sites sont réalisés à l'aide de faisceaux électroniques.

[0171] La première étape du procédé consiste à déposer un masque de protection 32 (figure 3a) sur la couche 20. Ce masque, d'épaisseur de 100 à 1000 nm comporte des ouvertures 36 de diamètre compris entre 50 et 100 nm séparées par un pas de 200 à 500 nm. Le matériau constitutif du masque de protection 32 est par exemple une résine du type de celles couramment utilisées dans les procédés de lithographie à haute résolution. Ce matériau peut être aussi un métal lourd (par exemple le molybdène ou le tungstène) afin de bloquer les faisceaux électroniques ou ioniques de haute énergie.

[0172] Au cours d'une seconde étape (figure 3b), la couche 20 est exposée à un faisceau parallèle 34 d'électrons à travers les ouvertures 36 du masque 32.

[0173] On obtient ainsi des sites émetteurs d'électrons 38₁, 38₂, etc. au droit des ouvertures 36 avec une densité prédéfinie, celle des ouvertures du masque 32. Avec des ouvertures 36 de diamètre 50 à 100 nm et un pas de 200 à 500 nm, la densité de sites émetteurs peut atteindre $10^{10}/\text{cm}^2$.

[0174] Ces valeurs ne sont, bien entendu, données qu'à titre d'exemple. On peut en effet faire appel à des techniques de lithographie électronique permettant des ouvertures de diamètre de 10 nm avec un espacement minimum entre motifs compris entre 30 et 50 nm. Dans ce cas, la densité de sites émetteurs est sensiblement supérieure.

[0175] Au cours d'une dernière étape, le masque de protection 32 est éliminé, par exemple par attaque chimique. On obtient ainsi une couche 20 génératrice d'électrons (figure 3c) avec des sites émetteurs 38₁, 38₂,... créés artificiellement.

[0176] Dans une variante (non montrée), à la place d'un faisceau d'électrons 34, on fait appel à une irradiation avec des agrégats (par exemple C₆₀) éventuellement multichargés, et donc de très forte énergie par exemple de 50 MeV à 1 GeV. Dans ce cas, l'irradiation peut être effectuée directement sur la couche 20 sans faire appel à un masque 32. Les sites émetteurs ou canaux conducteurs et/ou de forte affinité électronique sont créés le long de la trace des ions ou agrégats dans le matériau de la couche 20. Dans ce cas, les sites émetteurs ne se trouvent pas en des positions prédéterminées. Toutefois, la densité de tels sites émetteurs est contrôlable par la dose d'ions lourds ou agrégats.

[0177] Dans le mode de réalisation représenté sur les figures 4a à 4d, les sites émetteurs sont réalisés en parallèle à l'aide d'un champ électrique.

[0178] Pour la mise en oeuvre de ce procédé, on dépose sur la couche 20 un masque isolant 40 (figure 4a) présentant des ouvertures de diamètre compris entre 50 et 100 nm avec un pas de 200 à 500 nm. Ce masque isolant est, par exemple, en silice ou en nitrure de silicium. Son épaisseur dépend de la tension qui sera appliquée au cours des étapes suivantes. Avec un champ de claquage de l'ordre de 500 V/ μm , une tension appliquée de 100 volts, l'épaisseur d'isolant sera de l'ordre de 300 nm.

[0179] Après le dépôt de l'isolant 40, on procède au dépôt d'une couche métallique 42 (figure 4b) d'épaisseur un micron environ. Le métal de la couche 42 remplit les ouvertures du masque isolant 40 et vient en contact, par ces ouvertures, avec la couche 20.

[0180] Après dépôt de la couche 42, on applique à cette dernière une impulsion 44, par exemple de 100 volts. Cette impulsion est, dans un exemple, appliquée pendant une durée inférieure à une seconde. La tension et la durée sont choisies de manière à modifier localement, au droit des ouvertures de la couche 40, les propriétés électriques du matériau émetteur de la couche 20 (figure 4c).

[0181] Enfin, au cours d'une dernière étape on élimine les couches 40 et 42, par exemple par attaque chimique, ce qui laisse la couche 20 nue avec des canaux conducteurs 46₁, 46₂ formant des émetteurs d'électrons.

[0182] Dans la variante représentée sur les figures 5a à 5c, au lieu de faire appel à un masque isolant 40 pour définir les sites, on utilise un réseau de pointes conduc-

trices 50₁, 50₂, etc. formées à la surface 52 d'un substrat conducteur 54 (figure 5a). Ce réseau de pointes 50₁, 50₂, etc. est appliqué sur la surface de la couche 20 en même temps qu'on applique une impulsion électrique 56 (figure 5b) au substrat conducteur 54.

[0183] Comme dans le mode de réalisation précédemment décrit, la tension de l'impulsion 56 et sa durée sont choisies pour modifier localement, dans les sites se trouvant au droit des pointes, les propriétés de conduction du matériau émetteur de la couche 20. Comme dans le cas précédent, on obtient un réseau 46₁, 46₂, etc. de canaux conducteurs (figure 5c). La densité est égale à la densité du réseau de pointes.

[0184] On va maintenant décrire en relation avec les figures 6a et 6b, 7a à 7c, 8a à 8d, 9a à 9d et 10a à 10d, un procédé de fabrication de cathode de type monolithique consistant à fabriquer simultanément, sur un même substrat, les sources d'électrons et la grille d'extraction de ces électrons.

[0185] Comme dans la réalisation précédemment décrite (fabrication de générateurs d'électrons indépendamment de la grille d'extraction), on peut soit faire appel à un procédé série, soit faire appel à un procédé parallèle pour la fabrication des sites émetteurs d'électrons.

[0186] Les figures 6a et 6b représentent un procédé de fabrication de type série.

[0187] Dans cet exemple, sur la couche 20 de matériau émetteur, on dépose un masque isolant 60 d'épaisseur de 100 à 500 nm ; le masque 60 est en silice ou en nitrure de silicium. Sur la couche isolante 60, on dépose un métal conducteur 62 d'épaisseur comprise entre 50 et 300 nm. La couche métallique 62 est gravée, par exemple par lithographie puis attaque chimique ou attaque ionique réactive, de façon à créer des ouvertures circulaires 66 de diamètre de 50 à 200 nm dans cette couche 62. La couche 62 est destinée à constituer la grille d'extraction.

[0188] On enlève ensuite la partie de la couche isolante 60 se trouvant au droit des ouvertures 66, par exemple par attaque chimique, de façon à créer des cavités 64 de diamètre plus important que les ouvertures 66 de façon à éviter toute interaction entre le faisceau et l'isolant, l'interaction pouvant créer des charges parasites.

[0189] Enfin, un faisceau électronique 70 est centré sur chaque ouverture de façon à irradier le centre de la couche 20 au droit de l'ouverture 66 correspondante, ce qui crée les sites émetteurs 72₁, 72₂, etc.

[0190] Lorsque la couche 20 est isolante ou très faiblement conductrice, la couche isolante 60 n'est pas indispensable, c'est-à-dire que la grille 62 est déposée directement sur la couche 20.

[0191] Dans les modes de réalisation représentés sur les figures 7a à 7c, la fabrication des sites est du type parallèle.

[0192] Dans cet exemple, on prévoit (comme décrit en relation avec la figure 6a), sur la couche 20 de matériau émetteur, une couche isolante 60 et sur cette couche isolante, une couche conductrice 62 dans laquelle on grave des ouvertures 74 et sous laquelle on réalise, par

attaque chimique, des cavités 76 de l'isolant 60. Dans ce cas, les ouvertures 74 ont un diamètre compris entre 50 et 100 nm et le pas entre deux ouvertures 74 voisines est compris entre 200 et 500 nm.

[0193] Ensuite (figure 7b), on expose la couche conductrice 62 à un faisceau parallèle 78 d'électrons. La direction du faisceau parallèle est perpendiculaire à la face de la couche 62. Ainsi, les ouvertures 74 constituent des diaphragmes qui permettent que le faisceau 78 atteigne seulement la couche 20 au droit des ouvertures 74. On notera que, dans ce cas, on a intérêt à limiter le diamètre des ouvertures 74 pour obtenir un positionnement correct des sites émetteurs 80₁, 90₂ sur la couche 20.

[0194] Si le diamètre des ouvertures 74 utilisées pour créer les sites 80₁, 88₂, etc. est insuffisant pour un fonctionnement normal, au cours d'une dernière étape (figure 7c), on agrandit ces ouvertures de façon à constituer des ouvertures 84 de diamètre plus important, par exemple compris entre 100 et 200 nm.

[0195] Comme dans le mode de réalisation précédemment décrit, si le matériau de la couche 20 est isolant ou faiblement conducteur, la grille d'extraction 62 peut être déposée directement sur la couche 20.

[0196] Dans l'exemple représenté sur les figures 8a à 8d, on effectue une fabrication des sites émetteurs auto-alignés avec les ouvertures de la grille d'extraction.

[0197] A cet effet, au cours d'une première étape (figure 8a), sur la couche 20 de matériau émetteur, on dépose une couche isolante 86 sur laquelle on dépose une couche métallique 88 destinée à constituer la grille. Cette couche métallique 88 est recouverte par une couche de résine 90.

[0198] La couche de résine 90 est ensuite balayée par un faisceau électronique 92 localisé en des emplacements prédéterminés qui crée, à travers les couches 86, 88 et 90 des sites émetteurs 94₁, 94₂, etc. par exemple espacés selon un pas de 200 à 1000 nm.

[0199] L'irradiation à l'aide du faisceau 92 crée aussi une modification de la couche de résine 90 qui peut être développée pour obtenir des ouvertures 96₁, 96₂, etc. (figure 8b) en des emplacements qui correspondent naturellement à ceux des sites émetteurs 94₁, 94₂, etc.

[0200] Ces ouvertures 96₁,... de la couche 90 de résine sont mises à profit pour réaliser des ouvertures 98₁,... dans la couche métallique 88 et des cavités 100₁ de la couche d'isolant 86, sous les ouvertures 98₁,... (figure 8c). L'illumination de la résine est utilisée pour réaliser les ouvertures 98₁,... de la grille 88.

[0201] Enfin (figure 8d), la couche de résine 90 est éliminée.

[0202] Ce procédé permet un alignement aisé des sites 94₁ avec les ouvertures 98₁ de la grille 88 d'extraction des électrons.

[0203] Comme dans les modes de réalisation précédemment décrits, si le matériau de la couche 20 est isolant ou très faiblement conducteur, on dépose la couche 88 directement sur la couche 20.

[0204] En variante, le faisceau 92 est remplacé par une multiplicité de faisceaux localisés. Le faisceau électronique 92 peut aussi être remplacé par un faisceau à ions lourds multichargés qui fournit un positionnement aléatoire. Dans ce cas, la réalisation est de type parallèle ; elle présente le même avantage d'autoalignement des sites et des ouvertures de la grille.

[0205] Les figures 9a à 9d illustrent un procédé de fabrication de sites émetteurs de type parallèle à l'aide d'une impulsion de tension.

[0206] Selon ce procédé, on dépose sur la couche 20 de matériau émetteur une couche isolante 104 sur laquelle on dépose une couche métallique 106 (figure 9a). La couche isolante 104 est par exemple en silice ou en nitrure de silicium. Dans les couches 104 et 106 on forme des ouvertures 108₁, 108₂, etc. de diamètre de 50 à 100 nm avec un pas de 200 à 500 nm.

[0207] L'épaisseur de la couche isolante 104 dépend de la tension qui sera appliquée ensuite. Ainsi avec une tension de 100 volts, l'épaisseur de l'isolant est de l'ordre de 300 nm si cet isolant présente un champ de claquage de l'ordre de 500 volts/ μ m.

[0208] Après la réalisation des ouvertures 108₁, 108₂, on dépose sur la couche 106 et dans les ouvertures 108_i, une couche métallique 110 (figure 9b), et on applique une impulsion 112 (figure 9c), par exemple d'une amplitude de 100 volts et de durée inférieure à une seconde. De toute façon, la tension et la durée sont choisies de manière à modifier localement les propriétés électriques de la couche 20 afin de créer des canaux conducteurs, comme précédemment décrit.

[0209] Enfin (figure 9d), la couche métallique 110 est éliminée et sous les ouvertures de la couche métallique 106, constituant la grille d'extraction d'électrons, on forme, par attaque chimique, des cavités 114_i.

[0210] Ce procédé permet aussi un alignement correct des sites émetteurs avec les ouvertures de la grille 106.

[0211] Dans la réalisation que l'on va maintenant décrire en relation avec les figures 10a à 10d, les sites émetteurs sont réalisés par dopage d'un matériau semi-conducteur.

[0212] Ce procédé consiste à partir d'un substrat (ou couche) 120 semi-conducteur de type p monocristallin, par exemple en silicium ou en arséniure de gallium, sur lequel on forme, par épitaxie ou implantation ionique, une couche semi-conductrice intrinsèque 122. On dépose ensuite sur la couche 122 une couche isolante 124 qui est recouverte par une couche métallique 126.

[0213] Dans la couche 126, on forme, par exemple par lithographie, des ouvertures 128₁, 128₂, etc. (figure 10a) dont le diamètre est compris entre 50 et 100 nm avec un pas de 200 à 500 nm.

[0214] Après réalisation des ouvertures 128₁, 128₂, etc., on irradie, à l'aide d'un faisceau ionique parallèle 130, la couche métallique 126 avec ses ouvertures 128₁ à 128₂, ce qui permet la réalisation de canaux dopés 130₁, 130₂, etc. par implantation ionique dans la couche 122. Ces canaux dopés sont de type p (figure 10b).

[0215] De préférence, les ouvertures 128₁, 128₂ ont un diamètre relativement faible, de façon à contrôler les emplacements des zones dopées 130₁, 130₂, etc. Dans ces conditions, il peut être ensuite nécessaire d'agrandir ces ouvertures 128₁, 128₂, de façon à réaliser des ouvertures 132₁, 132₂ de plus grand diamètre (figure 10c). Dans ce cas, on fait appel à une gravure de type isotrope. Par exemple, une gravure induisant une diminution de 50 nm de l'épaisseur de la couche 126 entraînera une augmentation de 100 nm des ouvertures 132.

[0216] Après la réalisation des ouvertures 132₁, 132₂, on réalise, par exemple par attaque chimique, des cavités 134₁ sous les ouvertures 132₁ formées dans la couche isolante 124 (figure 10d).

[0217] Ce procédé permet d'obtenir des canaux dopés monocristallins qui sont autoalignés avec les ouvertures de la grille d'extraction.

[0218] La couche émettrice 20 dans laquelle on plante des sites émetteurs 131_i peut être réalisée non seulement de façon simultanée avec une grille d'extraction 136, mais aussi avec au moins une autre électrode 138 (figure 11), selon des procédés analogues à ceux décrits précédemment. Ainsi, dans l'exemple représenté sur la figure 11, sur la grille 136 on a déposé un isolant 140 et l'électrode 138 est formée sur l'isolant 140. L'ouverture 142_i de l'électrode 138 est d'un diamètre sensiblement supérieur au diamètre de l'ouverture 144_i de la grille 136.

[0219] La structure représentée sur figure 11 est réalisable avec tous les types de sites émissifs précédemment décrits.

[0220] La cathode froide d'émission de champ conforme à l'invention peut être utilisée pour réaliser des tubes électroniques fonctionnant à des fréquences, notamment de l'ordre de 10 GHz.

[0221] On va maintenant décrire en relation avec les figures 12 à 17 des tubes électroniques utilisant la cathode conforme à l'invention.

[0222] La figure 12 représente un tube à sortie inductive multifaisceau à grille unique.

[0223] Ce tube comporte une cathode 150 conforme à l'invention à laquelle est associée une grille plane 152 sur laquelle on applique l'énergie haute fréquence d'entrée. La distance d entre la grille 152 et la cathode 150 peut, suivant l'invention, être choisie de façon relativement indépendante du procédé de fabrication de la cathode. Elle peut donc être suffisamment faible pour que le champ électrique d'extraction soit important au niveau de la cathode, de façon à extraire le courant voulu ; elle peut aussi être assez grande (par exemple 5 à 10 microns) pour que la capacité grille/cathode soit faible et ne court-circuite pas, ou ne perturbe pas, l'énergie hyperfréquence injectée sur la grille.

[0224] Les électrons engendrés par les sites 151_i de la cathode 150 sont aussi extraits de l'espace cathode/grille ; ils sont également modulés en courant en raison du champ hyperfréquence régnant dans cet espace. Ils sont ensuite accélérés par le champ électrique régnant

entre cet ensemble et le bloc anode 154, lequel est essentiellement constitué par une cavité 154, dont le fond, plus épais, recueille la majeure partie des électrons.

[0225] Ces électrons modulés en courant et accélérés sous quelques centaines ou quelques milliers de volts cèdent alors leur énergie cinétique sous la forme d'énergie électromagnétique dans la cavité 154.

[0226] La puissance de sortie est extraite à une extrémité latérale 156 de la cavité 154.

[0227] Dans la variante représentée sur la figure 13, on prévoit une grille 158 comportant deux parties se trouvant selon deux surfaces distinctes, à savoir une partie active 160 à une distance d_2 de la surface de la cathode 150 et une seconde partie 162 comportant les parties non actives de la grille 158, à une distance d_1 de la surface 150 supérieure à la distance d_2 .

[0228] Cette structure permet, d'une part, de diminuer encore plus la capacité grille/cathode et de fonctionner à des fréquences encore plus élevées, et, d'autre part, de rapprocher de la cathode les parties actives 160 de la grille, pour renforcer le champ électrique d'extraction et augmenter le courant ou réduire l'énergie hyperfréquence "d'entrée" injectée sur la grille.

[0229] Chaque partie active 160 de la grille est reliée à la partie inactive 162 par une partie évasée, notamment conique, 164. De préférence, la forme de ces parties évasées 164 est choisie pour éviter que les faisceaux d'électrons 170 divergent sous l'effet de la charge d'espace et pour que ces faisceaux passent bien aux endroits voulus à travers les parties actives de la grille. Ainsi, les parties évasées 164 forment un wehnelt, c'est-à-dire une lentille électronique.

[0230] La figure 14 représente un canon à électrons de type à grille unique. Dans cette réalisation, la cathode 172 est réalisée sur une surface sphérique concave, et la grille 174 présente une forme analogue. Les ouvertures de la grille 174 sont, comme décrit ci-dessus, au droit des sites émetteurs de la cathode 172.

[0231] La forme des surfaces 172 et 174 permet de créer un faisceau d'électrons convergent et donc à haute densité de courant pouvant être utilisé dans un tube hyperfréquence de structure classique, par exemple un tube à onde progressive (TOP).

[0232] Dans ce contexte, on a affaire à un canon avec une grille de commande unique 174, cette grille n'interceptant pas le faisceau. En d'autres termes, contrairement aux canons à électrons classiques, il n'est pas nécessaire de prévoir de grille formant un masque pour délimiter des zones émissives. De plus, il ne se produit pas d'émission parasite.

[0233] Enfin, la grille 174 peut recevoir des signaux de commande permettant de moduler l'émission des électrons. La modulation du faisceau est alors effectuée dans le générateur d'électrons, alors qu'habituellement la génération et la modulation s'effectuent avec deux dispositifs distincts.

[0234] La figure 15 représente un tube oscillateur comprenant une cathode conforme à l'invention. Ce tube os-

cillateur est du type monotron. Les électrons 182 sortant de l'espace cathode/ grille rentrent aussitôt dans une cavité résonnante 180 où ils sont accélérés par une tension continue V_{KA} , appliquée entre le fond de la cavité et la cathode. Si le temps de séjour t de ces électrons dans la cavité est grand et tel que, approximativement, $2n\pi < 2nFt < (2n + 1)\pi$, il y a oscillation à la fréquence F , pour autant que la cavité résonne à cette fréquence F , ou à une fréquence proche de F .

[0235] En variante, on prévoit, comme dans l'exemple de la figure 12, que les électrons sont accélérés dans un espace grille/cavité et traversent la cavité à vitesse constante, en l'absence d'interactions.

[0236] Dans cette variante, comme dans la réalisation représentée sur la figure 15, quand il y a oscillation, la fréquence est en étroite relation avec le temps de séjour t , suivant la relation ci-dessus.

[0237] Les dimensions de la cavité et son antenne de couplage 189 sont telles que le mode de résonance présente des composantes importantes de champ électrique parallèle aux faisceaux et localisées à l'endroit où passent ces faisceaux. Si la cavité est rectangulaire (figure 15a), le mode sera, par exemple, un mode

[0238] $TE_{xyz}^{\otimes}$, avec $x = 1$, $y = 0$ et $z = k$ (entier), l'axe y étant parallèle aux faisceaux et les axes x , y et z étant perpendiculaires entre eux. Si la cavité est cylindrique (figure 15b), le mode sera, par exemple, un mode

[0239] $TM_{\theta rz}^0$ avec $\theta = 0$, $r = 1$ et $z = 0$, l'axe z étant parallèle aux faisceaux.

[0238] Dans cette réalisation, on prévoit d'appliquer une tension de polarisation 184 sur une grille 186, ainsi qu'une tension réglable 188 sur l'anode 190. La tension réglable 188 permet de régler la vitesse des électrons et donc le temps t , soit la fréquence de fonctionnement du tube oscillateur.

[0239] La figure 16 représente une triode à large bande utilisant une cathode conforme à l'invention. La configuration de cette triode est analogue à celle du tube représenté sur la figure 15, mais s'en distingue par le fait que le montage est de type amplificateur.

[0240] La configuration de la triode est telle que le faisceau d'électrons 196 traverse une zone de maximum du champ électrique à une fréquence f donnée. Le réglage de la fréquence f est obtenu, notamment, par des circuits hyperfréquences 198.

[0241] Dans la variante représentée sur la figure 17, la cathode conforme à l'invention est utilisée aussi pour constituer une triode amplificatrice à large bande. Dans ce cas, la distance entre la grille 202 et la cathode 204 est variable ; la surface émettrice de chaque site émetteur 206 de la cathode 204 et la densité de ces sites est fonction de la distance cathode-grille à l'endroit où se trouvent ces sites. Lorsque la distance grille-cathode est grande, les sites sont larges mais très espacés, l'espace entre deux sites correspondant à une demi-longueur

d'onde. Au contraire, lorsque la distance grille-cathode est faible, les sites sont petits mais peu espacés et donc denses. De cette façon, la densité de courant émise reste la même.

[0242] La distance variable entre cathode 204 et grille 202 permet une bande large. La distance la plus faible correspond à un fonctionnement aux plus hautes fréquences et la distance la plus élevée, aux fréquences les plus basses.

[0243] L'invention peut également être utilisée pour des applications d'affichage.

[0244] L'invention concerne de façon générale un procédé de fabrication d'une cathode émettrice d'électrons qui est caractérisé en ce qu'on part d'un matériau émetteur isolant ou à faible affinité électronique et en ce qu'on définit artificiellement des sites émetteurs par création localisée de zones à forte affinité électronique et/ou conductrices.

[0245] Dans un exemple, les sites créés artificiellement constituent, en volume, des canaux conducteurs.

[0246] Dans ce cas, il est préférable de que le rapport entre la hauteur d'un site et le pas entre deux sites soit inférieur ou égal à 0,5.

[0247] L'invention se rapporte aussi à un dispositif émetteur d'électrons comprenant une cathode émissive et une grille qui est caractérisé en ce que la cathode émissive présente des sites émetteurs d'électrons séparés les uns des autres et créés artificiellement et en ce que la grille d'extraction des électrons comporte des ouvertures en face des sites.

[0248] Selon un mode de réalisation, la distance séparant la grille de la surface émissive (204) de la cathode est variable.

[0249] Dans ce cas, de préférence, la densité de sites émetteurs sur la cathode varie en sens inverse de la distance à la grille.

[0250] Dans ce mode de réalisation, il est avantageux que la densité de courant émise soit constante quelle que soit la distance de la grille à la surface émissive.

Revendications

Revendications pour l'(les) Etat(s) contractant(s) suivant(s): AT, BE, CH, CY, ES, LI

1. Procédé de fabrication d'une cathode émettrice d'électrons, dans lequel on part d'un matériau émetteur (20) isolant ou à faible affinité électronique, **caractérisé en ce que** le matériau émetteur (20) comporte une surface restant localement sensiblement plane, **en ce qu'on** définit artificiellement sur la surface des sites émetteurs (26₁, 26₂) par création localisée de zones à forte affinité électronique et/ou conductrices, et **en ce que** les sites (26₁, 26₂) sont réalisés par irradiation de la surface du matériau isolant ou à faible affinité électronique à l'aide d'un fais-

ceau (24) d'électrons ou d'ions.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'irradiation est réalisée dans une enceinte sous vide où règne une pression du type généralement utilisée dans les tubes électroniques sous vide.
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** la pression est inférieure à quelques 133.10⁻⁵ Pascals (10⁻⁵ torr).
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la densité des sites est prédéterminée.
5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** les densités prédéterminées sont comprises entre 10⁸ et 10¹³/cm².
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le matériau isolant où à faible affinité électronique est choisi dans le groupe comprenant le diamant monocristallin ou polycristallin, le carbone à structure analogue à celle du diamant, un matériau à faible affinité électronique à base de carbone tel que ta-C, taC:N, un matériau amorphe très faiblement conducteur tel que a-Si, a-C:H: ou a-SiC ou un matériau à grande bande interdite tel que du nitrure d'aluminium ou de gallium, et un matériau isolant tel que l'oxyde de magnésium MgO et l'oxyde de titane TiO₂.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les sites (26₁, 26₂) conducteurs ou à forte affinité électronique sont réalisés en des emplacements prédéfinis.
8. Procédé de fabrication d'une cathode émettrice d'électrons, dans lequel on part d'un matériau émetteur (20) isolant ou à faible affinité électronique, **caractérisé en ce que** le matériau émetteur (20) comporte une surface restant localement sensiblement plane, **en ce qu'on** définit artificiellement sur la surface des sites émetteurs (26₁, 26₂) par création localisée de zones à forte affinité électronique et/ou conductrices et **en ce que** les sites (26₁, 26₂) sont réalisés par application d'une impulsion (31, 44) de courant électrique provoquant la modification locale des propriétés de conduction du matériau.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** les sites émetteurs (26₁, 26₂) sont réalisés avec un positionnement aléatoire.
10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** les sites (26₁, 26₂) sont réalisés par irradiation du matériau isolant ou à faible affinité électroni-

que à l'aide d'ions lourds ou d'agrégats.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les sites (26₁, 26₂) créés artificiellement constituent, en volume, des canaux conducteurs. 5
12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le matériau isolant à faible affinité électronique est du type sp³ et les canaux conducteurs sont de type sp², le matériau isolant ou à faible affinité électronique étant à base de carbone. 10
13. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** les canaux conducteurs sont cristallins, le matériau émetteur étant amorphe et très faiblement conducteur. 15
14. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** les canaux conducteurs sont réalisés par création de défauts. 20
15. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** les canaux conducteurs sont réalisés par désoxydation localisée, le matériau émetteur étant isolant. 25
16. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** chaque site (26₁, 26₂) s'étend sur une zone sensiblement circulaire de diamètre compris entre 1 et 100 nm. 30
17. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le rapport entre la hauteur d'un site et le pas entre deux sites est inférieur ou égal à 0,5. 35
18. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** pour créer les sites on fait appel à un faisceau (24) électronique ou ionique focalisé qu'on applique séquentiellement sur la surface (20) du matériau émetteur en des emplacements prédéfinis. 40
19. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'on** définit les emplacements des sites (38₁, 38₂; 72₁, 72₂) à l'aide d'un masque (32; 62) disposé devant le matériau émetteur et **en ce qu'on** irradie ce matériau émetteur à l'aide d'un faisceau (34) électronique ou ionique parallèle à travers les trous du masque. 45 50
20. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** les positions des sites (46₁, 46₂) sont définies par un masque (40) à trous disposé à proximité de la surface (20) du matériau émetteur, **en ce qu'on** applique une couche conductrice (42) dans les trous du masque (40) isolant et **en ce qu'on** applique une impulsion électrique (44) sur ce matériau conducteur 55

de façon à créer les sites (46₁, 46₂) dans le matériau émetteur.

21. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce qu'on** réalise les sites à l'aide d'une pointe (30) appliquée en des emplacements prédéterminés contre le matériau émetteur, une tension (32) étant appliquée à la pointe (30) pour réaliser les sites (26₁, 26₂) aux emplacements prédéterminés.
22. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** les sites (46₁, 46₂) sont réalisés à l'aide d'un ensemble de pointes (50₁, 50₂) appliquées contre la surface (20) du matériau émetteur, une impulsion (56) étant appliquée à l'ensemble des pointes (50₁, 50₂).
23. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'une** grille (62) d'extraction est réalisée simultanément avec la cathode, cette grille (62) étant constituée par une couche métallique (62) présentant des ouvertures (66, 74) qui sont utilisées pour réaliser les sites (72₁, 72₂; 80₁, 80₂).
24. Procédé selon la revendication 23, **caractérisé en ce que** les sites (72₁, 72₂) étant réalisés à l'aide d'un faisceau (78) électronique ou ionique de type parallèle, pour l'irradiation, on réalise des ouvertures (74) de la grille (62) d'une première dimension et après l'irradiation, on augmente le diamètre des ouvertures (74) de la grille (62).
25. Procédé selon la revendication 19 ou 20, **caractérisé en ce que** les sites sont réalisés à l'aide d'un faisceau électronique ou ionique (92) appliqué sur une couche de résine (90) recouvrant une couche métallique (88) destinée à constituer la grille, le faisceau provoquant une modification de la résine (90) et créant le site (94₁, 94₂), l'illumination de la résine (90) étant utilisée pour réaliser les ouvertures (98₁) de la grille (88).
26. Procédé selon la revendication 23, **caractérisé en ce qu'on** prévoit un isolant (60) entre le matériau émetteur (20) et la grille (62) et **en ce qu'une** cavité (64, 100₁) est formée dans cet isolant (60), au droit de chaque ouverture de la grille, en face de chaque site (72₁, 72₂) du matériau émetteur.
27. Dispositif émetteur d'électrons comprenant une cathode émissive (150) et une grille (152), la cathode émissive (150) présentant des sites (151_i) émetteurs d'électrons séparés les uns des autres et créés artificiellement **caractérisé en ce que** les sites (151_i) émetteurs d'électrons sont créés sur une surface restant localement sensiblement plane, **en ce que** les sites sont réalisés par irradiation de la surface à

l'aide d'un faisceau d'électrons ou d'ions et **en ce que** la grille (152) d'extraction des électrons comporte des ouvertures en face des sites (151_i).

28. Dispositif selon la revendication 27, **caractérisé en ce que** les ouvertures de la grille se trouvent sur une surface (160) à une première distance (d_2) de la cathode (150) et **en ce que** les parties de la grille (158) ne comportant pas d'ouverture se trouvent sur une seconde surface (162) à une seconde distance (d_1) de la surface émettrice, supérieure à la première distance.
29. Dispositif selon la revendication 28, **caractérisé en ce que** chaque partie de la grille (158) présentant au moins une ouverture et associée à au moins un site émetteur est reliée au reste de la grille dépourvue d'ouverture par l'intermédiaire d'une partie conique (164) agencée pour constituer un Wehnelt.
30. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 27 à 29, **caractérisé en ce que** la distance séparant la grille (202) de la surface émissive (204) de la cathode est variable.
31. Dispositif selon la revendication 30, **caractérisé en ce que** la densité de sites émetteurs sur la cathode varie en sens inverse de la distance à la grille.
32. Dispositif selon la revendication 28, **caractérisé en ce que** la densité de courant émise est constante quelle que soit la distance de la grille à la surface émissive.

Revendications pour l'(les) Etat(s) contractant(s) suivant(s): : FR, GB, ES

1. Procédé de fabrication d'une cathode émettrice d'électrons, dans lequel on part d'un matériau émetteur (20) isolant ou à faible affinité électronique **caractérisé en ce que** le matériau émetteur (20) comporte une surface restant localement sensiblement plane, **en ce qu'on** définit artificiellement sur la surface des sites émetteurs (26₁, 26₂) par création localisée de zones à forte affinité électronique et/ou conductrices, et **en ce que** les sites (26₁, 26₂) sont réalisés par irradiation de la surface du matériau isolant ou à faible affinité électronique à l'aide d'un faisceau (24) d'électrons ou d'agrégats.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'irradiation est réalisée dans une enceinte sous vide où règne une pression du type généralement utilisée dans les tubes électroniques sous vide.
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** la pression est inférieure à quelques $133 \cdot 10^{-5}$

Pascals (10^{-5} torr).

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la densité des sites est prédéterminée.
5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** les densités prédéterminées sont comprises entre 10^8 et $10^{13}/\text{cm}^2$.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le matériau isolant ou à faible affinité électronique est choisi dans le groupe comprenant le diamant monocristallin ou polycristallin, le carbone à structure analogue à celle du diamant, un matériau à faible affinité électronique à base de carbone tel que ta-C, ta-C:N, un matériau amorphe très faiblement conducteur tel que a-Si, a-C:H: ou a-SiC ou un matériau à grande bande interdite tel que du nitrure d'aluminium ou de gallium, et un matériau isolant tel que l'oxyde de magnésium MgO et l'oxyde de titane TiO₂.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les sites (26₁, 26₂) conducteurs ou à forte affinité électronique sont réalisés en des emplacements prédéfinis.
8. Procédé de fabrication d'une cathode émettrice d'électrons, dans lequel on part d'un matériau émetteur (20) isolant ou à faible affinité électronique, **caractérisé en ce que** le matériau émetteur (20) comporte une surface restant localement sensiblement plane, **en ce qu'on** définit artificiellement sur la surface des sites émetteurs (26₁, 26₂) par création localisée de zones à forte affinité électronique et/ou conductrices et **en ce que** les sites (26₁, 26₂) sont réalisés par application d'une impulsion (31, 44) de courant électrique provoquant la modification locale des propriétés de conduction du matériau.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** les sites émetteurs (26₁, 26₂) sont réalisés avec un positionnement aléatoire.
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les sites (26₁, 26₂) créés artificiellement constituent, en volume, des canaux conducteurs.
11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le matériau isolant à faible affinité électronique est du type sp^3 et les canaux conducteurs sont de type sp^2 , le matériau isolant ou à faible affinité électronique étant à base de carbone.
12. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en**

- ce que** les canaux conducteurs sont cristallins, le matériau émetteur étant amorphe et très faiblement conducteur.
13. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** les canaux conducteurs sont réalisés par création de défauts. 5
 14. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** les canaux conducteurs sont réalisés par désoxydation localisée, le matériau émetteur étant isolant. 10
 15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** chaque site (26₁, 26₂) s'étend sur une zone sensiblement circulaire de diamètre compris entre 1 et 100 nm. 15
 16. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le rapport entre la hauteur d'un site et le pas entre deux sites est inférieur ou égal à 0,5. 20
 17. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** pour créer les sites on fait appel à un faisceau (24) électronique focalisé qu'on applique séquentiellement sur la surface (20) du matériau émetteur en des emplacements prédéfinis. 25
 18. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'on** définit les emplacements des sites (38₁, 38₂ ; 72₁, 72₂) à l'aide d'un masque (32 ; 62) disposé devant le matériau émetteur et **en ce qu'on** irradie ce matériau émetteur à l'aide d'un faisceau (34) électronique parallèle à travers les trous du masque. 30 35
 19. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** les positions des sites (46₁, 46₂) sont définies par un masque (40) à trous disposé à proximité de la surface (20) du matériau émetteur, **en ce qu'on** applique une couche conductrice (42) dans les trous du masque (40) isolant et **en ce qu'on** applique une impulsion électrique (44) sur ce matériau conducteur de façon à créer les sites (46₁, 46₂) dans le matériau émetteur. 40 45
 20. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce qu'on** réalise les sites à l'aide d'une pointe (30) appliquée en des emplacements prédéterminés contre le matériau émetteur, une tension (32) étant appliquée à la pointe (30) pour réaliser les sites (26₁, 26₂) aux emplacements prédéterminés. 50
 21. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** les sites (46₁, 46₂) sont réalisés à l'aide d'un ensemble de pointes (50₁, 50₂) appliquées contre la surface (20) du matériau émetteur, une impulsion (56) étant appliquée à l'ensemble des pointes (50₁, 50₂). 55
 22. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'une** grille (62) d'extraction est réalisée simultanément avec la cathode, cette grille (62) étant constituée par une couche métallique (62) présentant des ouvertures (66, 74) qui sont utilisées pour réaliser les sites (72₁, 72₂ ; 80₁, 80₂). 50₂).
 23. Procédé selon la revendication 22, **caractérisé en ce que** les sites (72₁, 72₂) étant réalisés à l'aide d'un faisceau (78) électronique ou ionique de type parallèle, pour l'irradiation, on réalise des ouvertures (74) de la grille (62) d'une première dimension et après l'irradiation, on augmente le diamètre des ouvertures (74) de la grille (62).
 24. Procédé selon la revendication 18 ou 19, **caractérisé en ce que** les sites sont réalisés à l'aide d'un faisceau électronique ou ionique (92) appliqué sur une couche de résine (90) recouvrant une couche métallique (88) destinée à constituer la grille, le faisceau provoquant une modification de la résine (90) et créant le site (94₁, 94₂), l'illumination de la résine (90) étant utilisée pour réaliser les ouvertures (98₁) de la grille (88).
 25. Procédé selon la revendication 22, **caractérisé en ce qu'on** prévoit un isolant (60) entre le matériau émetteur (20) et la grille (62) et **en ce qu'une** cavité (64, 100₁) est formée dans cet isolant (60), au droit de chaque ouverture de la grille, en face de chaque site (72₁, 72₂) du matériau émetteur.
 26. Dispositif émetteur d'électrons comprenant une cathode émissive (150) et une grille (152), la cathode émissive (150) présentant des sites (151_i) émetteurs d'électrons séparés les uns des autres et créés artificiellement **caractérisé en ce que** les sites (151_i) émetteurs d'électrons sont créés sur une surface restant localement sensiblement plane, **en ce que** les sites sont réalisés par irradiation de la surface à l'aide d'un faisceau d'électrons ou d'agrégats et **en ce que** la grille (152) d'extraction des électrons comporte des ouvertures en face des sites (151_i).
 27. Dispositif selon la revendication 26, **caractérisé en ce que** les ouvertures de la grille se trouvent sur une surface (160) à une première distance (d₂) de la cathode (150) et **en ce que** les parties de la grille (158) ne comportant pas d'ouverture se trouvent sur une seconde surface (162) à une seconde distance (d₁) de la surface émettrice, supérieure à la première distance.
 28. Dispositif selon la revendication 27, **caractérisé en ce que** chaque partie de la grille (158) présentant

au moins une ouverture et associée à au moins un site émetteur est reliée au reste de la grille dépourvue d'ouverture par l'intermédiaire d'une partie conique (164) agencée pour constituer un Wehnelt.

29. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 26 à 28, **caractérisé en ce que** la distance séparant la grille (202) de la surface émissive (204) de la cathode est variable.
30. Dispositif selon la revendication 29, **caractérisé en ce que** la densité de sites émetteurs sur la cathode varie en sens inverse de la distance à la grille.
31. Dispositif selon la revendication 27, **caractérisé en ce que** la densité de courant émise est constante quelle que soit la distance de la grille à la surface émissive.

Claims

1. Process for fabricating an electron-emitting cathode, which starts with an emitter material (20) that is insulating or has a low electron affinity, **characterized in that** the emitter material (20) has a surface locally remaining substantially plane, **in that** emitter sites (26₁, 26₂) are artificially defined on the surface by locally creating zones that have a high electron affinity and/or are conducting, and **in that** the sites (26₁, 26₂) are produced by irradiating the surface of the insulating or low-electron-affinity material using an electron or particle beam (24).
2. Process according to Claim 1, **characterized in that** the irradiation is carried out in a vacuum chamber in which the pressure is generally of the type used in vacuum electron tubes.
3. Process according to Claim 2, **characterized in that** the pressure is less than a few 10⁻⁵ torr (133 × 10⁻⁵ pascals).
4. Process according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the density of the sites is predetermined.
5. Process according to Claim 4, **characterized in that** the predetermined densities are between 10⁸ and 10¹³/cm².
6. Process according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the insulating or low-electron-affinity material is chosen from the group comprising single-crystal or polycrystalline diamond, carbon having a structure similar to that of diamond, a carbon-based material having a low electron affinity such as ta-C, ta-C:N, an amorphous material hav-

ing a very low conductivity, such as a-Si, a-C:H or a-SiC, or a large-bandgap material, such as aluminum nitride or gallium nitride, and an insulating material such as magnesium oxide MgO or titanium oxide TiO₂.

7. Process according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the conducting or high-electron-affinity sites (26₁, 26₂) are produced at predefined locations.
8. Process for fabricating an electron-emitting cathode, which starts with an emitter material (20) which is insulating or has a low electron affinity, **characterized in that** the emitter material (20) has a surface that locally remains substantially plane, **in that** emitter sites (26₁, 26₂) are artificially defined on the surface by locally creating high-electron-affinity and/or conducting zones and **in that** the sites (26₁, 26₂) are produced by applying an electric current pulse (31, 44) that causes the conduction properties of the material to be locally modified.
9. Process according to any one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the emitter sites (26₁, 26₂) produced are randomly positioned.
10. Process according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the artificially created sites (26₁, 26₂) constitute, volumewise, conducting channels.
11. Process according to Claim 10, **characterized in that** the low-electron-affinity insulating material is of the sp³ type and the conducting channels are of the sp² type, the insulating or low-electron-affinity material being based on carbon.
12. Process according to Claim 10, **characterized in that** the conducting channels are crystalline, the emitter material being amorphous and very weakly conducting.
13. Process according to Claim 10, **characterized in that** the conducting channels are produced by the creation of defects.
14. Process according to Claim 10, **characterized in that** the conducting channels are produced by localized deoxidation, the emitter material being insulating.
15. Process according to any one of the preceding claims, **characterized in that** each site (26₁, 26₂) extends over a substantially circular zone with a diameter between 1 and 100 nm.
16. Process according to any one of the preceding

claims, **characterized in that** the ratio of the height of a site to the pitch between two sites is 0.5 or less.

17. Process according to Claim 7, **characterized in that** a focused electron beam (24) is used to create the sites, said beam being applied sequentially to the surface (20) of the emitter material at predetermined locations.
18. Process according to Claim 7, **characterized in that** the locations of the sites (38_1 , 38_2 ; 72_1 , 72_2) are defined by means of a mask (32; 62) placed in front of the emitter material and **in that** this emitter material is irradiated using a parallel electron beam (34) through the holes in the mask.
19. Process according to Claim 8, **characterized in that** the positions of the sites (46_1 , 46_2) are defined by a mask (40) having holes, which is placed near the surface (20) of the emitter material, **in that** a conducting layer (42) is applied in the holes of the insulating mask (40) and **in that** an electric pulse (44) is applied to this conducting material so as to create the sites (46_1 , 46_2) in the emitter material.
20. Process according to Claim 8, **characterized in that** the sites are produced using a tip (30) applied at predetermined locations against the emitter material, a voltage (32) being applied to the tip (30) in order to produce the sites (26_1 , 26_2) at the predetermined locations.
21. Process according to Claim 8, **characterized in that** the sites (46_1 , 46_2) are produced using a set of tips (50_1 , 50_2) applied against the surface (20) of the emitter material, a pulse (56) being applied to the set of tips (50_1 , 50_2).
22. Process according to any one of the preceding claims, **characterized in that** an extraction grid (62) is produced simultaneously with the cathode, this grid (62) being formed by a metal layer (62) having apertures (66, 74) that are used to produce the sites (72_1 , 72_2 ; 80_1 , 80_2).
23. Process according to Claim 22, **characterized in that**, when the sites (72_1 , 72_2) are produced using a parallel electron or ion beam (78) for the irradiation, apertures (74) of a first size are produced in the grid (62) and, after the irradiation, the diameter of the apertures (74) in the grid (62) is increased.
24. Process according to Claim 18 or 19, **characterized in that** the sites are produced using an electron or ion beam (92) applied on a resist layer (90) covering a metal layer (88) intended to form the grid, the beam modifying the resist (90) and creating the site (94_1 , 94_2), the illumination of the resist (90) being used to

produce the apertures (98_1) in the grid (88).

25. Process according to Claim 22, **characterized in that** an insulator (60) is provided between the emitter material (20) and the grid (62) and **in that** a cavity (64 , 100_1) is formed in this insulator (60), in line with each aperture in the grid, facing each site (72_1 , 72_2) of the emitter material.
26. Electron-emitting device comprising an emissive cathode (150) and a grid (152), the emissive cathode (150) having artificially created electron-emitting sites (151_i) that are separated from one another, **characterized in that** the electron-emitting sites (151_i) are created on a surface that locally remains substantially plane, **in that** the sites are produced by irradiating the surface using an electron or particle beam and **in that** the electron-extracting grid (152) has apertures facing the sites (151_i).
27. Device according to Claim 26, **characterized in that** the apertures in the grid lie on a surface (160) at a first distance (d_2) from the cathode (150) and **in that** those parts of the grid (158) that do not have apertures lie on a second surface (162) at a second distance (d_1) from the emitting surface, which is greater than the first distance.
28. Device according to Claim 27, **characterized in that** each part of the grid (158) having at least one aperture and associated with at least one emitter site is connected to the rest of the grid having no apertures via a conical part (164) designed to constitute a Wehnelt cathode.
29. Device according to any one of Claims 26 to 28, **characterized in that** the distance separating the grid (202) from the emissive surface (204) of the cathode can be varied.
30. Device according to Claim 29, **characterized in that** the density of emitter sites on the cathode varies inversely with the distance to the grid.
31. Device according to Claim 27, **characterized in that** the emitted current density is constant irrespective of the distance of the grid from the emissive surface.

Patentansprüche

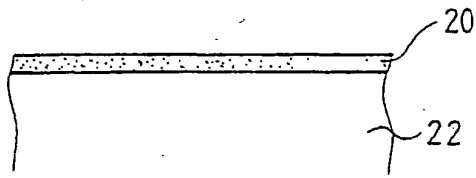
1. Verfahren zur Herstellung einer Elektronen emittierenden Kathode, bei dem von einem isolierenden oder eine schwache elektronische Affinität aufweisenden emittierenden Material (20) ausgegangen wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das emittierende Material (20) eine Fläche aufweist, die lokal im Wesentlichen eben bleibt, dass durch lokalisierte

- Erzeugung von eine starke elektronische Affinität aufweisenden und/oder leitenden Zonen auf der Fläche emittierende Stellen (26₁, 26₂) künstlich definiert werden, und dass die Stellen (26₁, 26₂) durch Bestrahlung der Fläche des isolierenden oder eine schwache elektronische Affinität aufweisenden Materials mit Hilfe eines Elektronenstrahls (24) oder von Aggregaten hergestellt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bestrahlung in einem Vakuumbehälter durchgeführt wird, in dem ein Druck von dem Typ herrscht, der üblicherweise bei den Vakuumelektronenröhren verwendet wird.
 3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druck unter einigen $133 \cdot 10^{-5}$ Pascal (10^{-5} Torr) liegt.
 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dichte der Stellen vorbestimmt ist.
 5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vorbestimmten Dichten zwischen 10^8 und $10^{13}/\text{cm}^2$ liegen.
 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das isolierende oder eine schwache elektronische Affinität aufweisende Material aus der Gruppe ausgewählt wird, die monokristalline oder polykristalline Diamanten, Kohlenstoff mit einer Struktur analog zu derjenigen des Diamanten, ein Material mit schwacher elektronischer Affinität auf der Basis von Kohlenstoff, wie ta-C, ta-C:N, ein sehr schwach leitendes amorphes Material wie a-Si, a-C:H: oder a-SiC, oder ein Material mit großem Bandabstand wie Aluminium- oder Galliumnitrid, und ein isolierendes Material wie Magnesiumoxid MgO und Titanoxid TiO₂ umfasst.
 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die leitenden oder eine starke elektronische Affinität aufweisenden Stellen (26₁, 26₂) an vordefinierten Plätzen hergestellt werden.
 8. Verfahren zur Herstellung einer Elektronen emittierenden Kathode, bei dem von einem isolierenden oder eine schwache elektronische Affinität aufweisenden emittierenden Material (20) ausgegangen wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das emittierende Material (20) eine Fläche aufweist, die lokal im Wesentlichen eben bleibt, dass durch lokalisierte Erzeugung von eine starke elektronische Affinität aufweisenden und/oder leitenden Zonen auf der Fläche emittierende Stellen (26₁, 26₂) künstlich definiert werden, und dass die Stellen (26₁, 26₂) durch Anlegen eines elektrischen Impulses (31, 44) hergestellt werden, der die lokale Veränderung der Leiteigenschaften des Materials bewirkt.
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die emittierenden Stellen (26₁, 26₂) mit einer zufälligen Positionierung hergestellt werden.
 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die künstlich erzeugten Stellen (26₁, 26₂) volumenmäßig leitende Kanäle bilden.
 11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das isolierende Material mit schwacher elektronischer Affinität vom Typ sp³ ist und die leitenden Kanäle vom Typ sp² sind, wobei das isolierende oder eine schwache elektronische Affinität aufweisende Material auf der Basis von Kohlenstoff ist.
 12. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die leitenden Kanäle kristallin sind, während das emittierende Material amorph und sehr schwach leitend ist.
 13. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die leitenden Kanälen durch Fehlerbildung hergestellt werden.
 14. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die leitenden Kanäle durch lokalisierte Desoxidation hergestellt werden, während das emittierende Material isolierend ist.
 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Stelle (26₁, 26₂) sich über eine im Wesentlichen kreisförmige Zone erstreckt, deren Durchmesser zwischen 1 und 100 nm liegt.
 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis zwischen der Höhe einer Stelle und dem Abstand zwischen zwei Stellen geringer als oder gleich 0,5 ist.
 17. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Herstellung der Stellen ein fokussierter Elektronenstrahl (24) verwendet wird, der sequentiell an vordefinierten Plätzen auf die Fläche (20) des emittierenden Materials aufgebracht wird.
 18. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Standorte der Stellen (38₁, 38₂; 72₁, 72₂) mit Hilfe einer Maske (32; 62) definiert werden, die vor dem emittierenden Material angeordnet

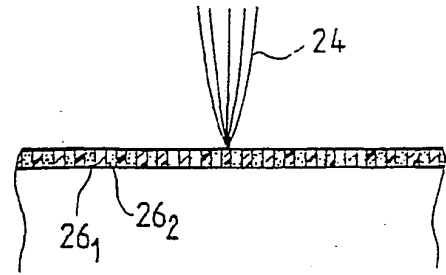
ist, und dass dieses emittierende Material mit Hilfe eines parallelen Elektronenstrahls (34) durch die Löcher der Maske bestrahlt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Positionen der Stellen (46₁, 46₂) durch eine Lochmaske (40) definiert werden, die in der Nähe der Fläche (20) des emittierenden Materials angeordnet ist, dass eine leitende Schicht (42) in die Löcher der isolierenden Maske (40) eingebracht wird, und dass ein elektrischer Impuls (44) auf dieses leitende Material angelegt wird, um die Stellen (46₁, 46₂) im emittierenden Material zu erzeugen. 5
20. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellen mit Hilfe einer Spitze (30) hergestellt werden, die an vorbestimmten Standorten auf das emittierende Material aufgebracht wird, wobei eine Spannung (32) an die Spitze (30) angelegt wird, um die Stellen (26₁, 26₂) an den vorbestimmten Standorten herzustellen. 10
21. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellen (46₁, 46₂) mit Hilfe einer Gruppe von Spitzen (50₁, 50₂) hergestellt werden, die auf die Fläche (20) des emittierenden Materials aufgebracht werden, wobei ein Impuls (56) an die Gruppe von Spitzen (50₁, 50₂) angelegt wird. 15
22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Extraktionsgitter (62) gleichzeitig mit der Kathode hergestellt wird, wobei dieses Gitter (62) aus einer Metallschicht (62) besteht, die Öffnungen (66, 74) aufweist, die zur Herstellung der Stellen (72₁, 72₂; 80₁, 80₂) verwendet werden. 20
23. Verfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, dass**, da die Stellen (72₁, 72₂) mit Hilfe eines Elektronen- oder Ionenstrahls (78) vom parallelen Typ hergestellt werden, für die Bestrahlung Öffnungen (74) des Gitters (62) einer ersten Größe hergestellt werden, und nach der Bestrahlung der Durchmesser der Öffnungen (74) des Gitters (62) vergrößert wird. 25
24. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellen mit Hilfe eines Elektronen- oder Ionenstrahls (92) hergestellt werden, der auf eine Harzschicht (90) aufgebracht wird, die eine Metallschicht (88) bedeckt, die dazu bestimmt ist, das Gitter zu bilden, wobei der Strahl eine Veränderung des Harzes (90) bewirkt und die Stelle (94₁, 94₂) erzeugt, wobei das Anstrahlen des Harzes (90) verwendet wird, um die Öffnungen (98₁) des Gitters (88) herzustellen. 30
25. Verfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Isolierung (60) zwischen dem emittierenden Material (20) und dem Gitter (62) vorgesehen wird, und dass in dieser Isolierung (60) ein Hohlraum (64, 100₁) im rechten Winkel zu jeder Öffnung des Gitters vor jeder Stelle (72₁, 72₂) des emittierenden Materials gebildet wird. 35
26. Elektronen emittierende Vorrichtung, die eine emittierende Kathode (150) und ein Gitter (152) aufweist, wobei die emittierende Kathode (150) Elektronen emittierende Stellen (151_i) aufweist, die voneinander getrennt sind und künstlich erzeugt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektronen emittierenden Stellen (151_i) auf einer Fläche erzeugt werden, die lokal im Wesentlichen eben bleibt, dass die Stellen durch Bestrahlung der Fläche mit Hilfe eines Elektronenstrahls oder von Aggregaten hergestellt werden, und dass das Elektronen-Extraktionsgitter (152) Öffnungen vor den Stellen (151_i) aufweist. 40
27. Vorrichtung nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnungen des Gitters sich auf einer Fläche (160) in einem ersten Abstand (d₂) von der Kathode (150) befinden, und dass die Bereiche des Gitters (158), die keine Öffnung aufweisen, sich auf einer zweiten Fläche (162) in einem zweiten Abstand (d₁) von der emittierenden Fläche befinden, der größer ist als der erste Abstand. 45
28. Vorrichtung nach Anspruch 27, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Bereich des Gitters (158), der mindestens eine Öffnung aufweist und mindestens einer emittierenden Stelle zugeordnet ist, mit dem Rest des Gitters ohne Öffnung über einen Kegelbereich (164) verbunden ist, der eingerichtet ist, um ein Wehnelt zu bilden. 50
29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 28, **dadurch gekennzeichnet, dass** der das Gitter (202) von der emittierenden Fläche (204) der Kathode trennende Abstand variabel ist. 55
30. Vorrichtung nach Anspruch 29, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dichte der emittierenden Stellen auf der Kathode entgegengesetzt zum Abstand zum Gitter variiert.
31. Vorrichtung nach Anspruch 27, **dadurch gekennzeichnet, dass** die emittierte Stromdichte konstant ist, unabhängig vom Abstand des Gitters zur emittierenden Fläche.

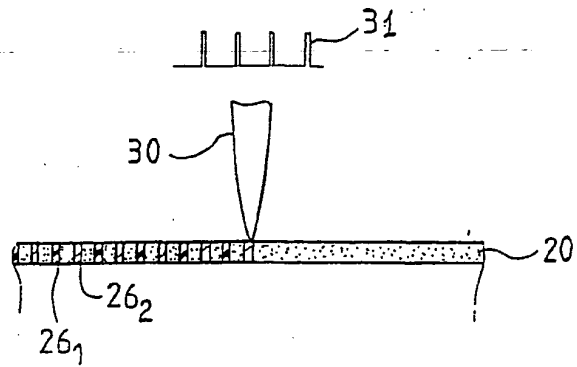
FIG_1



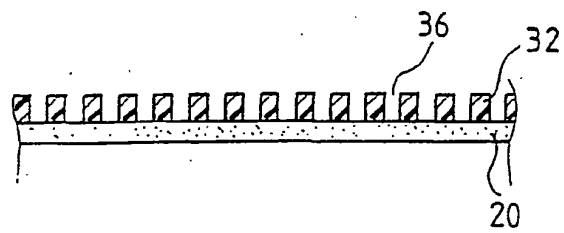
FIG_1a



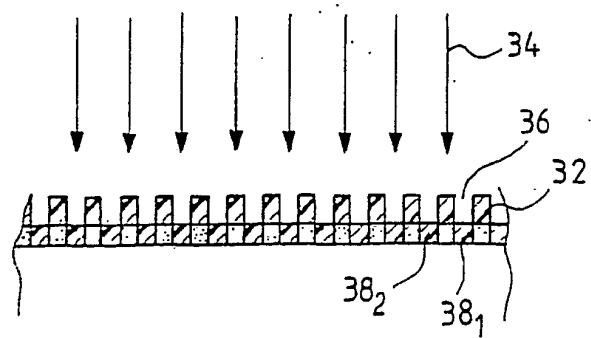
FIG_2



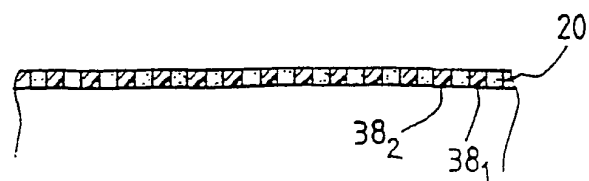
FIG_3a

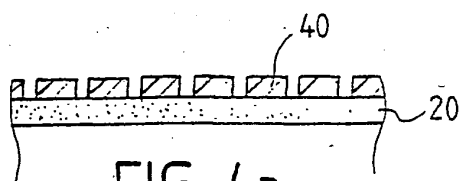


FIG_3b

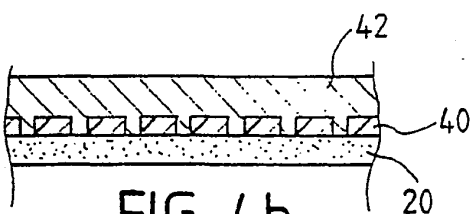


FIG_3c

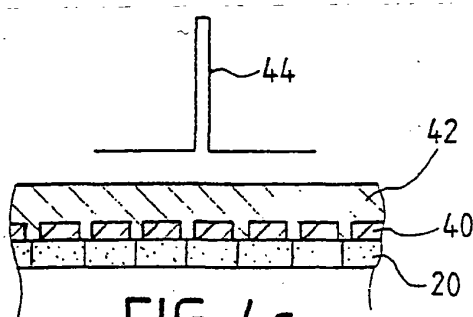




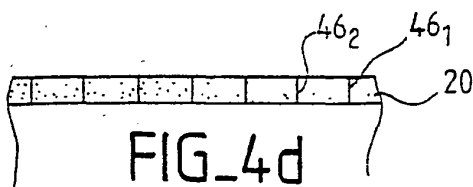
FIG_4a



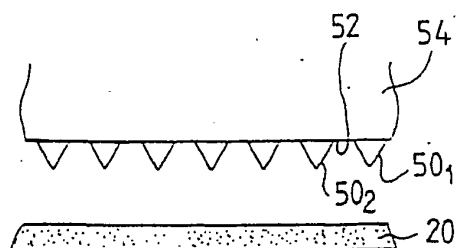
FIG_4b



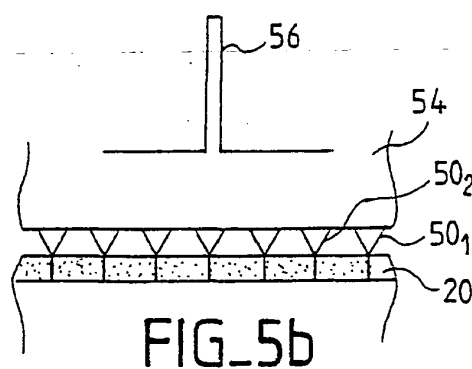
FIG_4c



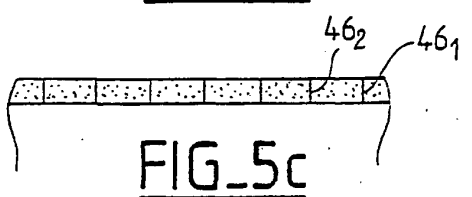
FIG_4d



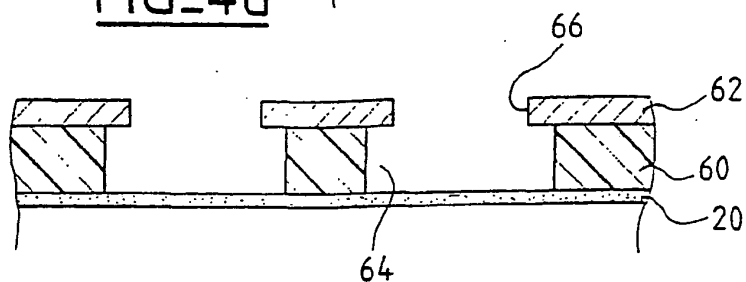
FIG_5a



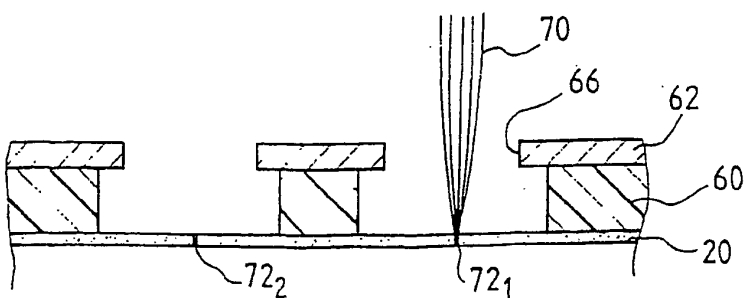
FIG_5b



FIG_5c

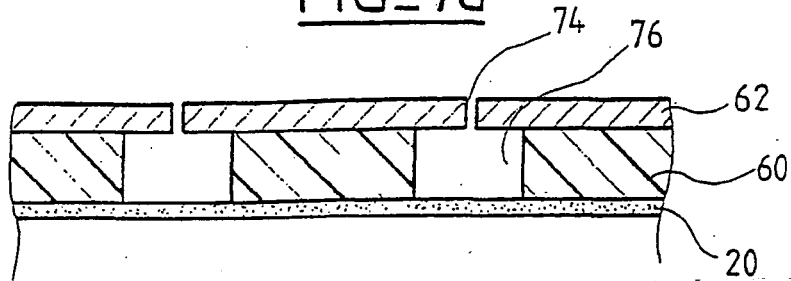


FIG_6a

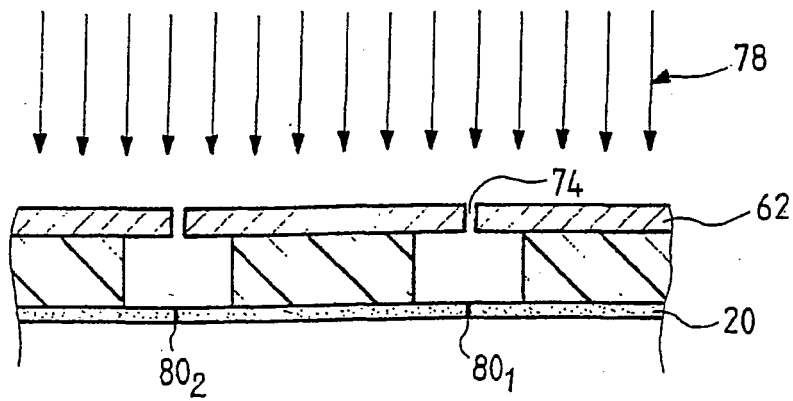


FIG_6b

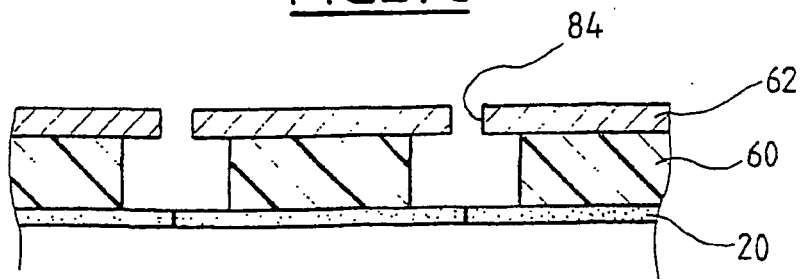
FIG_7a

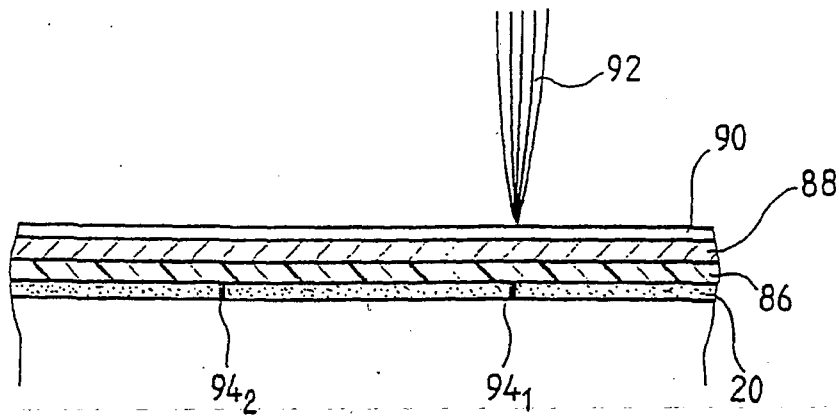


FIG_7b

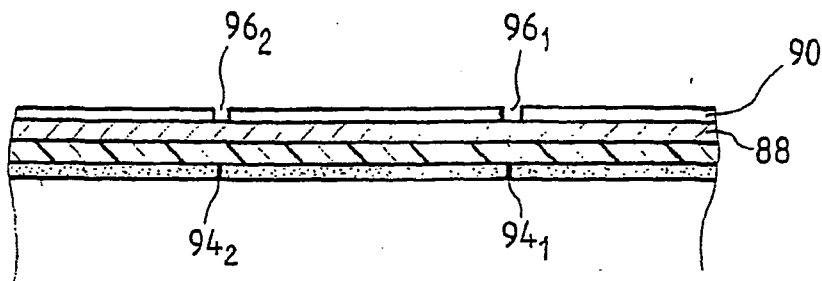


FIG_7c

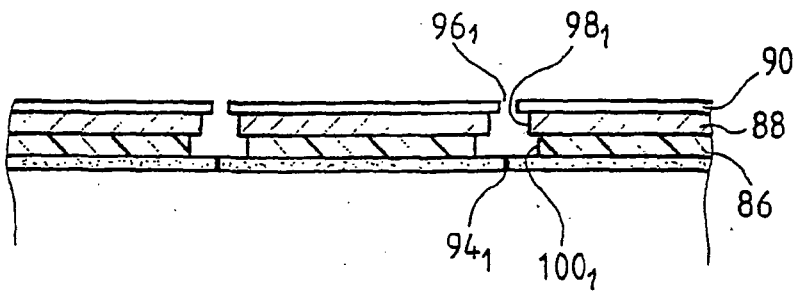




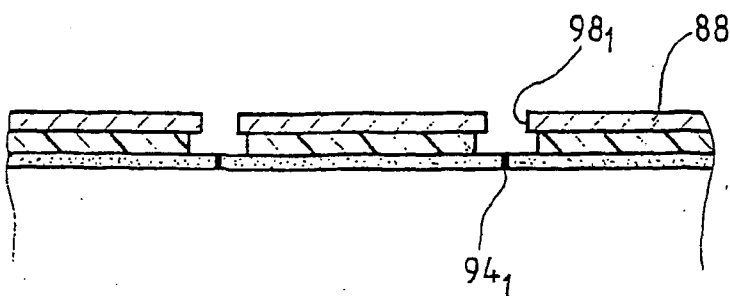
FIG_8a



FIG_8b



FIG_8c



FIG_8d

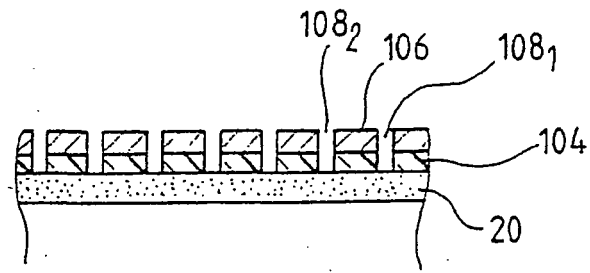


FIG. 9a

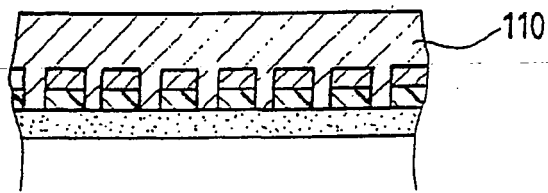


FIG. 9b

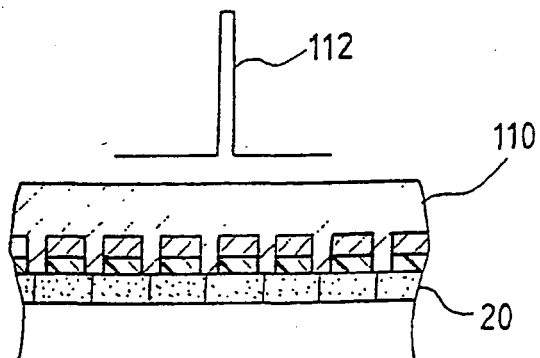


FIG. 9c

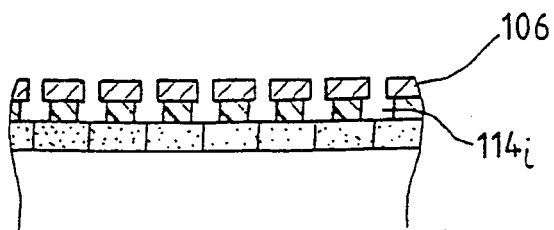
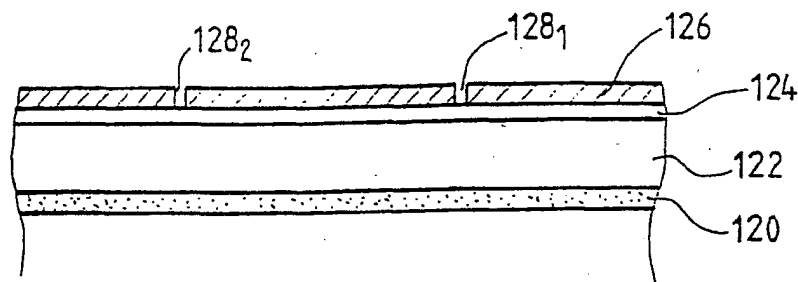
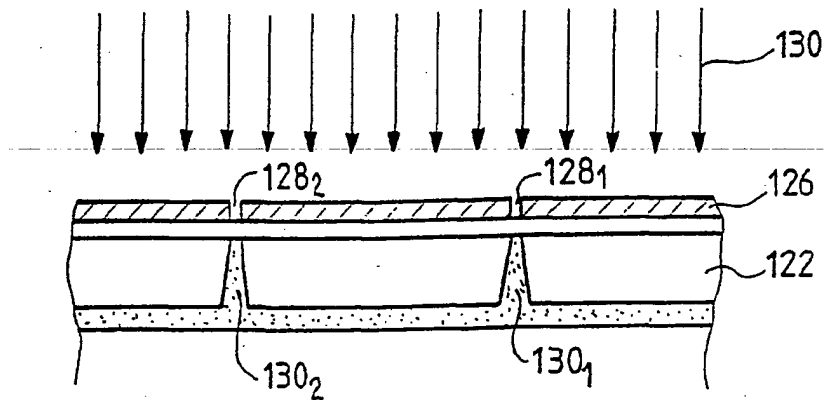


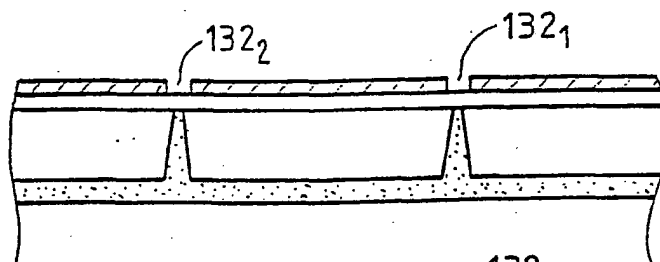
FIG. 9d



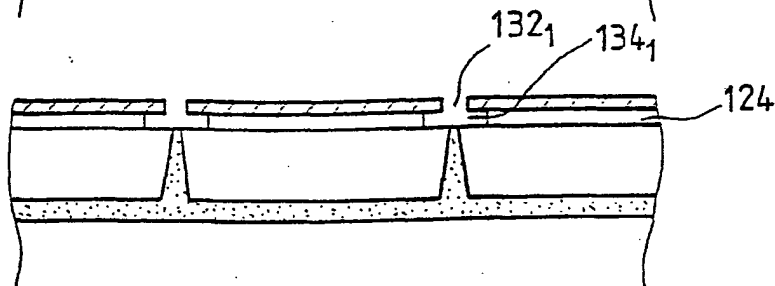
FIG_10a



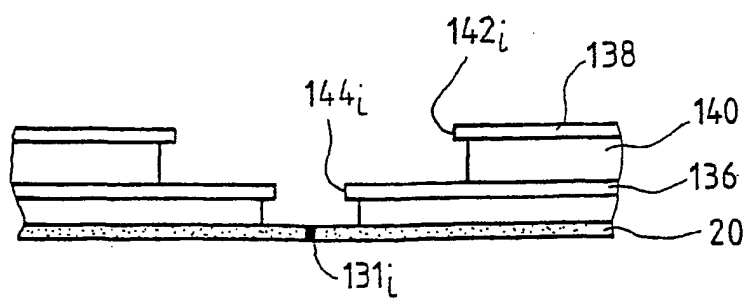
FIG_10b



FIG_10c

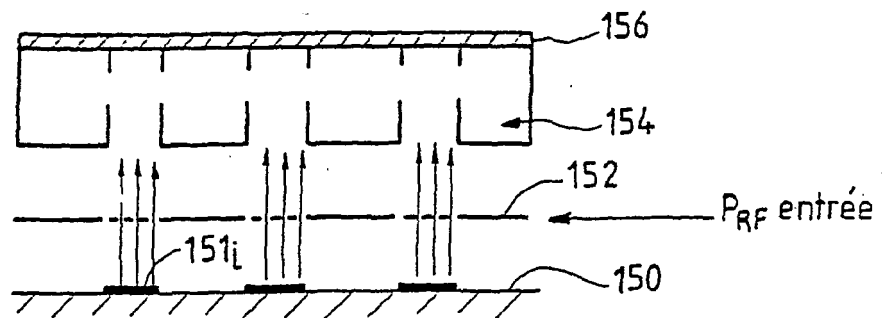


FIG_10d

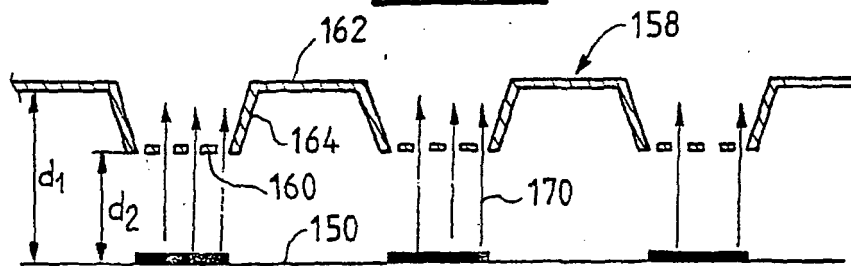


FIG_11

FIG_12



FIG_13



FIG_14

