(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 650 119**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **89 09886**

(51) Int Cl[5] : H 01 J 1/30, 9/02.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 21 juillet 1989.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** BOPI « Brevets » n° 4 du 25 janvier 1991.

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *Société dite : THOMSON TUBES ELECTRONIQUES.* — FR.

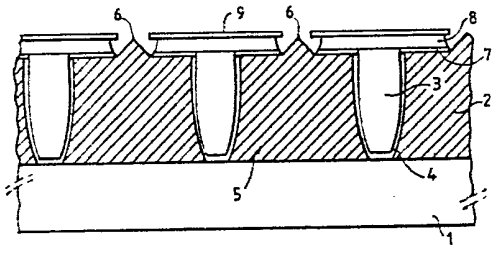
(72) **Inventeur(s) :** Didier Pribat, Georges Faillon et Pierre Legagneux, *Thomson-CSF SCPI.*

(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire(s) :** Vladimir Chaverneff, Thomson-CSF SCPI.

(54) Dispositif de régulation de courant individuel de pointe dans un réseau plan de microcathodes à effet de champ, et procédé de réalisation.

(57) Le dispositif de régulation du courant individuel de pointe 6 d'un réseau plan de microcathodes à effet de champ comporte essentiellement un piédestal découpé dans une couche résistive 5 placée en série avec chaque pointe. Ce piédestal est découpé par micro-usinage de la couche 2 de silicium intrinsèque supportant les pointes, autour de chaque pointe.



FR 2 650 119 - A1

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

DISPOSITIF DE REGULATION DE COURANT INDIVIDUEL DE POINTE DANS UN RESEAU PLAN DE MICROCATHODES A EFFET DE CHAMP, ET PROCEDE DE REALISATION

La présente invention se rapporte à un dispositif de régulation de courant individuel de pointe dans un réseau plan de microcathodes à effet de champ, et à un procédé de réalisation de ce dispositif.

Une microcathode à émission de champ se compose essentiellement d'une micropointe émissive 1A dont le sommet est entouré d'une grille métallique 2A. La polarisation de cette grille par rapport à la micropointe permet d'obtenir l'émission électronique par effet de champ. La grille repose en général sur un diélectrique solide 3A, qui permet de l'isoler électriquement du potentiel de la cathode (figure 1).

On utilise des réseaux plans formés de telles microcathodes, afin de réaliser par exemple des canons à électrons permettant d'obtenir de fortes densités d'émission (>10A/cm^2). Typiquement, un réseau plan est constitué de microcathodes logées dans des microcylindres de diamètre d'environ 1 µm disposés aux quatre sommets d'une maille carrée de côté égal à environ 10 µm.

On obtient ainsi des densités de pointes de l'ordre de 10^6/cm^2 et corrélativement des densités de courant d'émission supérieures à 10 A/cm^2, pour des courants individuels de 10 µA/pointe.

Le courant d'émission d'une pointe peut être représenté par l'expression (1) : $I = A F^2 \exp(-B/E)$, dérivée de la formule de Fowler-Nordheim et dans laquelle A et B sont des constantes et E est le champ électrique au sommet de la pointe. Pour une tension effective V entre le sommet de la

pointe et la grille, la valeur du champ électrique E dépend du rayon de courbure du sommet de la pointe ainsi que de différents paramètres tels que position du sommet de la pointe par rapport au plan inférieur de la grille, distance pointe-grille etc... Ce champ E sera, pour des raisons de commodité, représenté par $E = V/r$ où r est un paramètre variant comme le rayon de courbure du sommet de la pointe. Cette expression n'est pas exacte, mais elle illustre bien en première approximation la variation de E. On conçoit bien que sur 10^6 pointes/cm^2, il sera difficile de maintenir toutes les caractéristiques géométriques parfaitement identiques et que par conséquent on observera des variations de champ électrique E d'une pointe à l'autre. Ces variations de champ induisent, comme on le voit d'après l'expression (1), des variations notables de courant d'émission (pour une tension fixée), qui peuvent conduire à la destruction par fusion de certaines pointes (celles par exemple présentant les rayons de courbure les plus faibles) tandis que d'autres n'émettent pratiquement pas.

La présente invention a pour objet un dispositif permettant de limiter le courant d'émission de chaque pointe, mais toutefois sans agir directement sur la tension d'extraction imposée à la grille, ainsi que son procédé de réalisation.

Le dispositif de régulation de courant individuel de pointe dans un réseau plan de microcathodes à effet de champ conforme à l'invention consiste en une résistance disposée en série avec chaque microcathode. Cette résistance fait partie du support du réseau de microcathodes.

Le procédé de l'invention consiste à rendre résistif le support des microcathodes. Selon un mode de réalisation, on fait un micro-usinage du substrat supportant le réseau de microcathodes. Selon un autre mode de réalisation, on dope ce substrat, par exemple par diffusion de bore

L'insertion d'une résistance disposée en série avec chaque pointe permet ladite limitation. On peut ainsi prévenir la fusion des pointes les plus sollicitées et on obtient de plus

un effet d'égalisation du courant de pointe à pointe. Le fait d'adjoindre une résistance Rj en série avec la pointe j fait chuter la tension effective entre le sommet de la pointe j et la grille d'une valeur Rj.Ij où Ij est le courant émis par cette même pointe -j-. Par suite, le champ électrique devient

$$Ej = \frac{V - RjIj}{rj}$$

où rj est le paramètre de longueur associé à la pointe j. Ainsi, plus le courant initial est élevé, plus le champ a tendance à diminuer, ce qui entraîne de façon bouclée une diminution du courant émis selon l'expression (1). Le système devient autorégulé, si la résistance Rj est correctement adaptée.

Une résistance série sera correctement adaptée si elle permet d'introduire une chute de tension effective de l'ordre de la dizaine de volts pour un accroissement du courant d'émission de l'ordre de dix à quelques dizaines de microampères par pointe. Ceci donne pour Rj une valeur type comprise entre quelques 10^5 et quelques 10^6 ohms.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée de plusieurs modes de réalisation, pris comme exemples non limitatifs et illustrés par le dessin annexé, sur lequel :

- la figure 1 est une vue en coupe d'une micropointe de l'art antérieur,
- la figure 2 est une vue en coupe de micropointes conformes à l'invention,
- les figures 2A à 2D et 3A à 3B sont des vues schématiques en coupe illustrant les premières étapes d'un premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 4 est une vue en coupe de la structure obtenue à la suite desdites premières étapes,
- les figures 5 et 6 sont respectivement une vue de dessus et une vue en coupe selon VI-VI de la figure 5, d'une

variante des étapes précédentes,

- les figures 7A à 7D, 8 à 10 et 11A à 11E et 12 sont des vues schématiques en coupe ou de dessus montrant les étapes suivantes du procédé de l'invention, et

- les figures 13A à 13D sont des vues en coupe simplifiées illustrant des étapes d'une variante du procédé de l'invention.

Une des méthodes connues de réalisation de micropointes consiste en un dépôt en phase vapeur épitaxial sélectif et facetté du matériau constitutif des micropointes en question sur un substrat monocristallin partiellement masqué. La sélectivité de dépôt est obtenue d'une part en se plaçant au voisinage de l'équilibre thermodynamique pour la réaction de dépôt (c'est-à-dire en contrôlant la composition de la phase gazeuse et la température) et d'autre part en utilisant un matériau de masquage à barrière de nucléation plus élevée que celle du substrat. De cette façon, les atomes ou les molécules issus de la pyrolyse de la phase gazeuse ne peuvent acquérir la taille du germe critique sur le masque, tandis qu'ils sont directement incorporés dans le cristal à la surface du substrat monocristallin ; il y a donc croissance sur le substrat, mais non sur le masque.

Cette méthode de réalisation est décrite dans la Demande de Brevet français n° 88 03949 et dans la Demande de Brevet français n° 89 03153.

Il existe d'autres techniques de fabrication de micropointes, basées sur des méthodes d'évaporation sous vide de métaux (voir par exemple C.A. SPINDT et collaborateurs, Journal of Applied Physics, Volume 47, n° 12, page 5248, Décembre 76) ou bien sur des méthodes d'attaque sélective de substrats monocristallins (voir par exemple H.F. Gray et Coll. International Electron Devices Meeting 1986, page 33.1).

Un des substrats les plus fréquemment utilisés, et ce, quelle que soit la technique de fabrication des pointes retenue, est le silicium. On le trouve facilement sous forme de plaques

monocristallines de grandes surfaces et de plus, c'est un bon conducteur thermique (1,5 W/cm. °C à 300°K).

Pour ces différentes raisons et sans que ceci soit limitatif, le procédé de fabrication des résistances série sera illustré sur un exemple où le substrat est en silicium. On pourrait cependant utiliser un substrat en GaAs ou tout autre substrat monocristallin ; on pourrait aussi utiliser un substrat non monocristallin dans les cas où les micropointes sont obtenues par un procédé d'évaporation sous vide (voir par exemple R. MEYER et Coll. dans "Japan Display 1986").

Le procédé de l'invention consiste en un usinage du support des micropointes, de façon à individualiser pour chaque microcathode ou micropointe un micro-piédestal de résistance appropriée. La figure 2 représente une vue en coupe de la structure obtenue après l'opération d'usinage qui consiste à creuser une tranchée dans le substrat autour de chaque micropointe.

La source d'électrons représentée en figure 2 est formée sur un substrat 1 en matériau faiblement résistif (environ 10^{-3} ohm.cm). Ce substrat 1 porte une couche résistive 2 dont la résistivité est ajustée pour obtenir les valeurs de Rj précitées. La couche 2 comporte des cavités 3 régulièrement réparties dont la forme est mieux visible en figure 12. La profondeur des cavités 3 est sensiblement égale à l'épaisseur de la couche 2. Les parois des cavités 3 sont revêtues d'une couche diélectrique 4 de passivation. Les cavités 3 découpent dans la couche 2 des pavés 5 sensiblement parallélépipédiques. Le centre de la face supérieure de chaque pavé 5 est surmonté d'une micropointe 6 dont la forme peut être pyramidale ou conique par exemple. La face supérieure de la couche 2 non surmontée par les pointes 6 est recouverte d'une couche 7 d'un premier diélectrique, elle-même recouverte d'une couche 8 d'un second diélectrique. La couche 8 est recouverte d'une couche métallique 9. Les rôles de ces différentes couches sont expliqués ci-dessous.

Le procédé de l'invention sera mieux compris au

travers de la description qui va suivre.

On part d'un substrat de silicium 10 de résistivité faible (typiquement quelques 10^{-3} ohm.cm, dopage As) et d'orientation superficielle (x,y,z) où x,y et z sont choisis de préférence mais non de façon limitative parmi 0 ou 1.

1. On dépose par épitaxie en phase vapeur sur toute la surface du substrat 10 une couche 11 de silicium intrinsèque, d'épaisseur 5 à 10 µm et de résistivité 1.10^3 à $1,5\ 10^3$ ohms.cm (voir figure 2A). On peut éventuellement déposer préalablement sur le substrat 10 une couche tampon 12 de résistivité 10^{-2} ohm.cm environ en silicium dopé à l'antimoine et d'épaisseur 2 à 3 µm, afin d'éviter l'exodiffusion de l'arsenic dans la phase gazeuse et dans la couche intrinsèque et obtenir ainsi plus facilement la résistivité de 1.10^3 à $1,5\ 10^3$ ohms.cm (voir figure 2B).

2. On dépose ensuite (par des méthodes telles que PECVD, LT0 ou HT0 connues de l'homme de l'art) une première couche mince 13 d'un matériau qui servira dans ce qui suit de masque d'oxydation. On peut par exemple déposer une couche de Si_3N_4 d'épaisseur 0,1 à 0,2 µm. On pourrait aussi utiliser une couche mince d'un métal noble tel que Au ou Pt, associé à une barrière de diffusion type Ti.

3. On dépose sur la couche précédente une couche de diélectrique 14 d'épaisseur 1 à quelques microns. Ce diélectrique servira à isoler la grille de la cathode dans le dispositif final. Cette couche de diélectrique est du SiO_2 (obtenu par PECVD, LT0 ou HT0) ou bien de l'Al_2O_3 (obtenue par évaporation) ou bien tout autre matériau connu de l'homme de l'art.

4. Sur le diélectrique 14 on dépose une couche 15 de métal de 0,1 à 0,5 µm d'épaisseur environ (Au ou Pt par exemple) qui servira ultérieurement de grille d'extraction pour la micropointe.

5. On dépose un diélectrique de passivation 16 (de préférence amorphe, Si_3N_4 ou SiO_2) sur la grille (en utilisant

encore une méthode telle que PECVD, LTO ou HTO) et d'épaisseur 0,1 à 0,5 µm environ. Ce diélectrique sert à rendre sélective l'opération d'épitaxie facettée par laquelle les micropointes seront générées.

On notera que si le pas de répétition des pointes est supérieur à l'épaisseur de la couche 11 de résistivité élevée, les opérations d'usinage (telles que décrites dans ce qui suit) visant à individualiser les résistances série sont inutiles. La structure finale obtenue est alors beaucoup plus simple et telle que représentée en figure 2D.

6. On dépose sur l'ensemble une seconde couche métallique 17 (d'épaisseur 0,1 à 0,5 µm environ) qui servira de masque de gravure pour les opérations à suivre (couche de Cr, Al ou Au). (voir figure 2C).

7. On grave dans le sandwich précédemment déposé le motif représenté en figure 3A. Cette gravure peut s'effectuer soit chimiquement en utilisant un masque en résine photosensible et les réactifs appropriés pour chaque couche, soit en utilisant différents plasmas dans un bâti de type RIE (Reactive Ion Etching, procédé connu de l'homme de l'art). La "raideur" des flancs après l'attaque n'est pas ici un paramètre déterminant. La structure obtenue est représentée en coupe (coupe selon III-III de la figure 3A) sur la figure 3B pour un cas d'attaque par RIE.

Le motif de la figure 3A, qui est une vue de dessus dudit sandwich, est un réseau régulier de carrés C disposés en lignes et colonnes. Les sommets du carré C représenté en entier sur la figure 3A sont référencés m,n,p,q. Les intervalles de largeur L entre carrés successifs sont sensiblement les mêmes dans le sens des lignes et dans le sens des colonnes. Ces intervalles sont avantageusement compris entre 1/5 et 1/10 de la longueur des côtés des carrés C. Chaque carré est relié par le milieu de chacun de ses côtés aux quatre carrés qui l'entourent par un "pont" P1 à P4 à bords sensiblement rectilignes, dont la largeur est du même ordre de grandeur que L. Selon un mode

de réalisation, la longueur des côtés des carrés C est comprise entre 5 et 10 µm environ, la largeur des ponts P1 à P4 est comprise entre 1 et 2 µm environ, et L est d'environ 2 à 3 µm.

8. En utilisant le masque métallique 17 qui protège l'ensemble des couches de passivation, de grille, de diélectrique de grille et de masque d'oxydation, on grave dans la couche intrinsèque 11 des tranchées de profondeur P correspondant sensiblement à l'épaisseur de cette couche intrinsèque ; cette gravure est effectuée de façon anisotrope en utilisant un réacteur du type RIE et un plasma de type $CF_4 + O_2$ ou SF_6, ou encore $CHF_3 + SF_6$, ou de tout autre mélange de gaz approprié et connu de l'homme de l'art.

La structure est représentée sur la figure 4. Si par exemple le carré central C du masque mesure 6,5 µm de côté, et si la couche intrinsèque possède une résistivité de 1200 ohms.cm, il faudra graver environ 7 µm de profondeur dans la couche intrinsèque pour obtenir un parallélépipède de résistance environ 2.10^6 ohms. Dans ce cas, on ménagera des ouvertures ayant une largeur L de l'ordre de 2,5 µm entre les différents carrés, de façon à favoriser l'attaque RIE. On a représenté en hachuré sur la figure 3A les zones de pontage P1 à P4 entre différents carrés, qui permettront d'établir le potentiel de la grille sur l'ensemble des micropointes dont l'obtention sera décrite dans ce qui suit. Ces zones de pontage peuvent être désolidarisées du substrat, comme représenté en figure 2, (cette figure 2 est une coupe selon II-II de la figure 3A), par une attaque chimique effectuée après l'attaque RIE : le diélectrique de grille 8, qui supporte la métallisation de grille 9 n'est pas attaqué par le réactif chimique d'attaque du substrat et ce diélectrique de grille assure alors le support mécanique de la grille entre les différents carrés ; ceci entraîne une sous-gravure au niveau des carrés, égale à la demi-largeur des zones de pontage. Afin de minimiser cette sous-gravure (dont l'effet n'est cependant pas gênant) on maintiendra la largeur des zones de pontage à environ 1 à 2 µm.

Si l'on utilise un substrat de silicium d'orientation de surface (110), on pourra avantageusement éviter l'étape de RIE et la remplacer par une étape d'attaque chimique anisotrope. En effet, si l'on utilise une solution d'attaque type 50 % KOH, 50 % H_2O D.I. (D.I. : dé-ionisé) à 80°C, on obtient une vitesse d'attaque de l'ordre de 600 fois plus grande selon les directions <110> que selon les directions <111> du cristal. Ainsi (voir figure 5), si l'on oriente correctement les côtés du carré C du masque de la figure 3A -qui devient dans ce cas un losange LO- dans le plan (110), l'attaque sera directement limitée par les plans (111) perpendiculaires au plan (110) de la surface du substrat. La figure 5 représente le masque, ainsi que les différentes directions cristallines en vue de dessus, tandis que la figure 6 représente la structure obtenue par attaque chimique dans la solution précitée. On notera que dans ce cas, il est inutile d'utiliser un masque métallique supplémentaire tel que le masque 17, et que la couche de diélectrique de passivation 16 (Si_3N_4 par exemple) peut avantageusement servir de masque de gravure.

De même que précédemment, on peut ensuite attaquer le pied de silicium 11 en-dessous des zones de pontage, en pratiquant une attaque chimique non sélective (mélange HNO_3 + HF par exemple) du silicium. Notons, cependant, que cette opération n'est pas nécessaire dans la plupart des cas, car la contribution à la diminution de la résistance série apportée par les zones de pontage est minime.

Cette opération d'attaque anisotrope d'un substrat monocristallin sera utilisée de préférence à l'attaque RIE décrite au paragraphe précédent chaque fois que la possibilité s'en présentera (en particulier pour les substrats de GaAs).

9. Après obtention de structures telles que celles représentées sur les figures 4 ou 6, on procède à l'opération de gravure des logements 18 qui vont accueillir les pointes, à l'intérieur des carrés C (ou des losanges LO). Cette opération s'effectue de préférence par RIE (en particulier pour le

diélectrique de grille) et en utilisant le masque métallique 17 pour protéger l'ensemble des couches sous-jacentes. Ce masque métallique est tout d'abord gravé chimiquement en utilisant une résine photosensible pour définir la forme des ouvertures ; cette résine est enlevée après gravure du masque métallique 17 et la structure est placée dans un réacteur RIE dans lequel on utilise un plasma approprié pour la gravure de chaque couche (par exemple CF_4 ou $CF_4 + O_2$ pour le diélectrique de passivation si ce dernier est en Si_3N_4 ; CCl_2F_2 pour la grille métallique si elle est en Au ou Pt ; $CHF_3 + O_2$ pour le diélectrique de grille s'il est en SiO_2).

Par contre, comme indiqué sur la figure 7A, on conserve la couche 13 servant de masque d'oxydation afin de protéger la partie sous-jacente de la couche intrinsèque au cours de l'opération d'oxydation dont la description va suivre. La forme de l'ouverture des logements représentés en coupe sur la figure 7A peut être carrée, circulaire, oblongue ou polygonale. Les figures 7B à 7D représentent quelques unes de ces formes possibles.

10. Après avoir enlevé (par dissolution chimique) le masque métallique 17, on pratique une légère oxydation des flancs du silicium 11 mis à nu lors de l'étape 8 précédemment décrite, et ce, de façon à passiver les surfaces de germination monocristallines (voir figure 8). Cette opération est nécessaire car elle va permettre à l'opération d'épitaxie par laquelle les pointes seront fabriquées d'être effectivement sélective. On obtient ainsi une couche 19 de SiO_2, d'une épaisseur d'environ 0,1 à 0,3 µm.

On remarquera qu'il est préférable d'utiliser comme métallisation de grille un métal noble type Au ou Pt de façon à éviter les problèmes d'oxydation de la grille pendant cette opération de passivation du silicium. S'il est nécessaire d'utiliser un matériau de grille plus réfractaire que Au ou Pt, on s'orientera vers des oxydes tels que par exemple RuO_2 (oxyde de ruthenium) ou ReO_3 (oxyde de rhenium) qui sont

insensibles à l'action de l'oxygène à haute température et présentent de faibles résistivités à température ambiante.

11. On enlève (par attaque chimique ou plasma sélective) le masque d'oxydation 13 au fond des ouvertures 18 pratiquées lors de l'étape 9. Par exemple, si ce masque d'oxydation est en Si_3N_4 on pourra utiliser une attaque chimique du type H_3PO_4 à 160°C, qui présente une bonne sélectivité par rapport à la silice. Ceci permet d'enlever le masque d'oxydation sans affecter l'oxyde de passivation recouvrant les flancs des tranchées gravées lors de l'étape 8. Les figures 9 et 10 représentent respectivement en coupe (selon IX-IX de la figure 10) et en vue de dessus les structures obtenues à ce stade du process.

12. Ayant mis le silicium 11 à nu dans les ouvertures pratiquées à l'intérieur des carrés m n p q, on peut maintenant procéder à l'intérieur de ces ouvertures à l'opération de croissance épitaxiale sélective et facettée, telle que décrite dans les Demandes de Brevet français 88 03949 et 89 03153, de façon à obtenir une structure telle que celle représentée en figure 2.

On a représenté sur les figures 11A à 11E une variante possible du procédé de l'invention.

1' On réalise selon la technique décrite dans la Demande de Brevet 89 03153 la structure représentée sur la figure 11A.

Cette structure comporte successivement, sur un substrat 20, une couche intrinsèque 21, une couche 22 de diélectrique de grille, une couche 23 de métallisation de grille et un masque de passivation 24. Des cavités 25 formées dans les couches 22 à 24 comportent sur leur fond des micropointes 26. Ces micropointes 26 sont obtenues par épitaxie sélective et facettée.

2' Sur le réseau de microcathodes 26 ainsi réalisé, on dépose à la "tournette" (plateau tournant) une couche 27 de produit organique tel qu'une résine photosensible ou un matériau polyimide, d'épaisseur 1 à quelques microns ; on dépose ensuite par évaporation sous vide

une couche métallique 28 qui servira de masque de gravure ; cette couche peut être en Cr, Pt, Au, Ti, Mo, etc... et son épaisseur peut varier entre 0,1 et 0,6 µm (figure 11B).

3' En utilisant une deuxième couche de résine photosensible (non représentée) on grave chimiquement dans cette couche métallique de masquage 28 un motif identique à celui représenté sur la figure 3A. On utilise ensuite le masque métallique ainsi défini pour graver par RIE et en plasma d'oxygène la couche 27 sous-jacente de polyimide ou de résine. La structure résultante est représentée en figure 11C.

4' On grave ensuite le diélectrique 24, la grille 23 et le diélectrique de grille 22 soit chimiquement soit par RIE (en particulier pour 22) en utilisant les réactifs ou les gaz appropriés. La structure obtenue est représentée en figure 11D.

5' Toujours en utilisant le masque métallique supérieur 28, on grave, par RIE, de façon à se placer en conditions d'attaque très anisotropiques la couche intrinsèque sur pratiquement toute son épaisseur, de façon à obtenir la structure représentée sur la figure 11E.

On aurait pu aussi utiliser une attaque chimique anisotrope du type KOH + H_2O telle que celle décrite à l'étape 8 ci-dessus.

D'autre part, on remarquera que cette dernière méthode s'applique à tout type de pointe, quel que soit le mode d'obtention, sous réserve que l'on dispose préalablement une couche sous-jacente de résistivité appropriée.

La structure finale est représentée en perspective sur la figure 12, après que l'on ait enlevé le masque métallique supérieur (par attaque chimique) et la résine ou le polyimide par dissolution dans un solvant approprié.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de régulation de courant individuel de pointe dans un réseau plan de microcathodes à effet de champ, caractérisé par le fait qu'il consiste en une résistance (5) disposée en série avec chaque microcathode (6).

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la résistance fait partie du support (2) du réseau de microcathodes.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé par le fait que le support est en matériau résistif.

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé par le fait que le matériau résistif a une résistivité d'environ 1.10^3 à $1,5.10^3$ ohms.cm.

5. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 4, caractérisé par le fait que chaque microcathode a un support individuel (5).

6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la résistance série est comprise entre 10^5 et 10^6 ohms environ.

7. Procédé de réalisation d'un dispositif de régulation de courant individuel de pointe dans un réseau plan de microcathodes à effet de champ, caractérisé par le fait qu'il consiste à rendre résistif le support des microcathodes.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé par le fait que le support des microcathodes est rendu résistif par dopage.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé par le fait que le dopage est réalisé par diffusion d'un élément tel que le bore dans le matériau du support, ce matériau étant du silicium.

10. Procédé selon la revendication 7, caractérisé par le fait que le support des microcathodes est micro-usiné autour

de chaque microcathode, de façon à individualiser pour chaque microcathode un micro-piédestal de résistance appropriée.

11. Procédé selon la revendication 7 ou 10, caractérisé par le fait que l'on part d'un substrat de silicium (10) de faible résistivité sur la surface duquel on dépose une couche (11) de silicium intrinsèque qui est usinée ultérieurement et sur laquelle on forme les microcathodes.

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé par le fait que le substrat de silicium a une résistivité de quelques 10^{-3} ohm.cm et est dopé avec As.

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé par le fait que avant de déposer la couche de silicium intrinsèque, on dépose une couche tampon (12) de silicium dopé à l'antimoine de résistivité 10^{-2} ohm.cm environ et d'épaisseur 2 à 3 µm environ.

14. Procédé selon l'une des revendications 11 à 13, caractérisé par le fait que la couche de silicium intrinsèque est déposée par épitaxie en phase vapeur.

15. Procédé selon l'une des revendications 11 à 14, caractérisé par le fait que l'on dépose successivement sur la couche de silicium intrisèque une couche (13) servant de masque d'oxydation, une couche de diélectrique (14), une couche de métal (15) une deuxième couche diélectrique (16), une seconde couche métallique (17).

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé par le fait que la couche servant de masque d'oxydation est en Si_3N_4 d'épaisseur 0,1 à 0,2 µm.

17. Procédé selon la revendication 15, caractérisé par le fait que la couche servant de masque d'oxydation est en métal noble tel que Au ou Pt associé à une barrière de diffusion de type Ti.

18. Procédé selon l'une des revendications 15 à 17, caractérisé par le fait que la première couche de matériau diélectrique a une épaisseur de 1 à quelques micromètres, et est en matériau tel que SiO_2 ou Al_2O_3.

19. Procédé selon l'une des revendications 15 à 18, caractérisé par le fait que la première couche de métal a une épaisseur d'environ 0,1 à 0,5 µm et est en métal tel que Au ou Pt.

20. Procédé selon l'une des revendications 15 à 19, caractérisé par le fait que la deuxième couche diélectrique a une épaisseur d'environ 0,1 à 0,5 µm en matériau amorphe tel que Si_3N_4 ou SiO_2.

21. Procédé selon l'une des revendications 15 à 20, caractérisé par le fait que la deuxième couche métallique a une épaisseur d'environ 0,1 à 0,5 µm, et est en matériau tel que Cr, Al ou Au.

22. Procédé selon l'une des revendications 11 à 21, caractérisé par le fait que l'on grave dans les couches se trouvant sur la couche de silicium intrinsèque un réseau de motifs réguliers et alignés ayant chacun en vue de dessus une surface sensiblement carrée (C), reliés entre eux par des "ponts" (P1-P4) de largeur plus faible que les dimensions de ces motifs.

23. Procédé selon la revendication 22, caractérisé par le fait que la gravure est effectuée chimiquement en utilisant un masque en résine photosensible pour la deuxième couche métallique et les réactifs appropriés pour chaque couche.

24. Procédé selon la revendication 22, caractérisé par le fait que la gravure est effectuée à l'aide de plasmas dans un réacteur de type RIE.

25. Procédé selon l'une des revendications 22 à 24, caractérisé par le fait que l'on grave ensuite entre les motifs, dans la couche intrinsèque, des tranchées dont la profondeur est sensiblement égale à l'épaisseur de cette couche intrinsèque.

26. Procédé selon la revendication 25, caractérisé par le fait que la gravure des tranchées est réalisée de façon anisotrope dans un réacteur du type RIE avec un plasma du type $CF_4 + O_2$ ou SF_6 ou $CHF_3 + SF_6$ ou encore $CHF_3 + O_2$.

27. Procédé selon l'une des revendications 22 à 24,

avec un substrat de silicium d'orientation de surface (110), caractérisé par le fait que l'on grave ensuite entre les motifs, dans la couche intrinsèque, des tranchées dont la profondeur est sensiblement égale à l'épaisseur de cette couche intrinsèque, par attaque chimique anisotrope.

28. Procédé selon la revendication 27, caractérisé par le fait que l'attaque chimique utilise une solution du type 50% KOH, 50% H_2O dé-ionisée.

29. Procédé selon l'une des revendications 22 à 28, caractérisé par le fait que l'on grave ensuite à l'intérieur de chaque motif un logement pour une micropointe, en attaquant les couches se trouvant sur la couche de silicium intrisèque après avoir gravé dans la deuxième couche métallique la forme des ouvertures.

30. Procédé selon la revendication 29, caractérisé parle fait que l'attaque se fait par RIE en utilisant un plasma approprié pour chaque couche, la deuxième couche métallique étant gravée chimiquement après avoir été recouverte de résine photosensible pour définir la forme des ouvertures.

31. Procédé selon la revendication 23 ou 30, caractérisé par le fait que l'on utilise un plasma du type CF_4 ou $CF_4 + O_2$ pour la deuxième couche diélectrique, du type CCl_2F_2 pour la première couche métallique et du type $CHF_3 + O_2$ pour la première couche diélectrique si elle est en SiO_2.

32. Procédé selon l'une des revendications 29 à 31, caractérisé par le fait que l'on fabrique dans chaque logement une micropointe par épitaxie sélective et facettée.

33. Procédé selon l'une des revendications 11 à 14, caractérisé par le fait que l'on forme, par épitaxie sélective et facettée, des micropointes (26) sur la couche de silicium intrinsèque ainsi qu'une première couche diélectrique (22), une couche métallique (23) et une deuxième couche diélectrique (24), avant de graver la couche de silicium intrinsèque.

34. Procédé selon la revendication 33, caractérisé par le fait que l'on dépose sur le réseau de micropointes une couche

de produit organique (27), puis une deuxième couche métallique (28), et que l'on grave dans la deuxième couche métallique des motifs de forme sensiblement carrée entourant chaque micropointe jusqu'à la couche de silicium intrinsèque.

35. Procédé selon la revendication 34, caractérisé par le fait que le produit organique a une épaisseur d'un à quelques microns, que la deuxième couche métallique est déposée par évaporation sous vide et a une épaisseur d'environ 0,1 à 0,6 µm.

36. Procédé selon la revendication 34 ou 35, caractérisé par le fait que l'on grave chimiquement la deuxième couche métallique en utilisant une couche de produit photosensible.

37. Procédé selon l'une des revendications 34 à 36, caractérisé par le fait que l'on grave la couche de produit organique par RIE et en plasma d'oxygène.

38. Procédé selon l'une des revendications 34 à 37, caractérisé par le fait que l'on grave chimiquement les deux couches diélectriques et la première couche métallique.

39. Procédé selon l'une des revendications 34 à 37, caractérisé par le fait que l'on grave par RIE les deux couches diélectriques et la première couche métallique.

40. Procédé selon l'une des revendications 33 à 39, caractérisé par le fait que l'on grave par attaque chimique anisotrope la couche de silicium intrinsèque.

41. Procédé selon l'une des revendications 33 à 39, caractérisé par le fait que l'on grave par RIE en conditions d'attaque très anisotropiques la couche de silicium intrinsèque.

42. Procédé selon l'une des revendications 36 à 41, caractérisé par le fait que l'on enlève la deuxième couche métallique par attaque chimique, et la couche de produit organique par dissolution dans un solvant approprié.

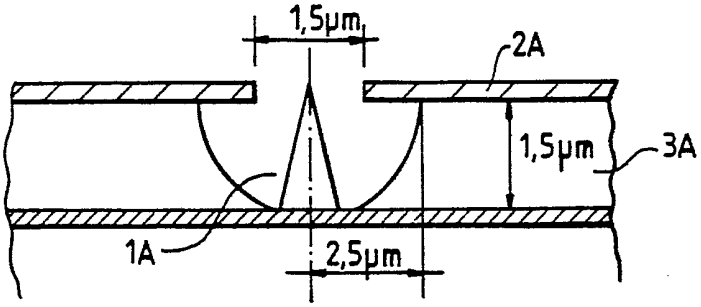


FIG.1

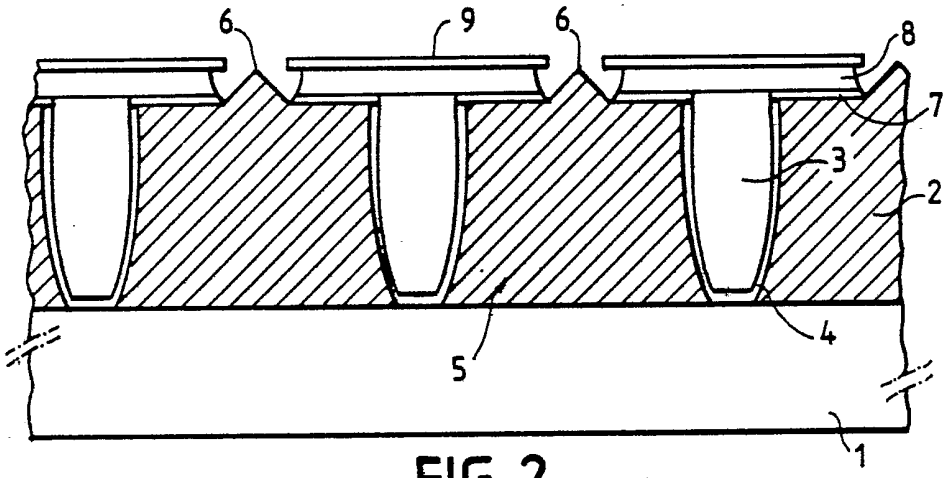


FIG. 2

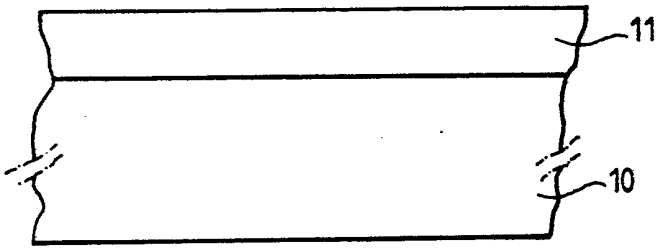


FIG. 2a

FIG.2b

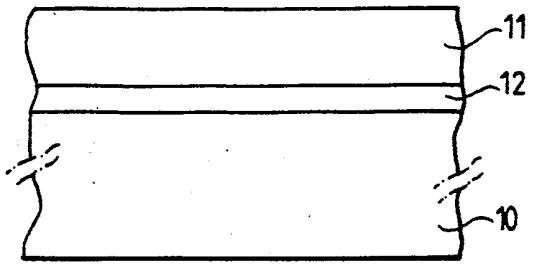


FIG.2c

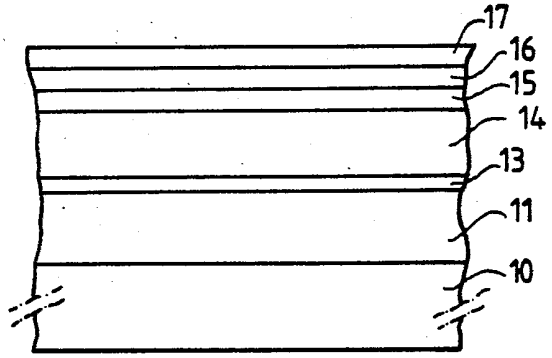
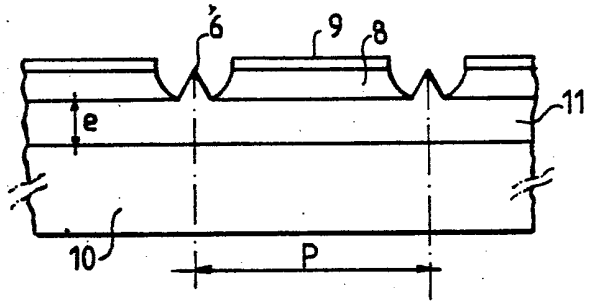


FIG.2d



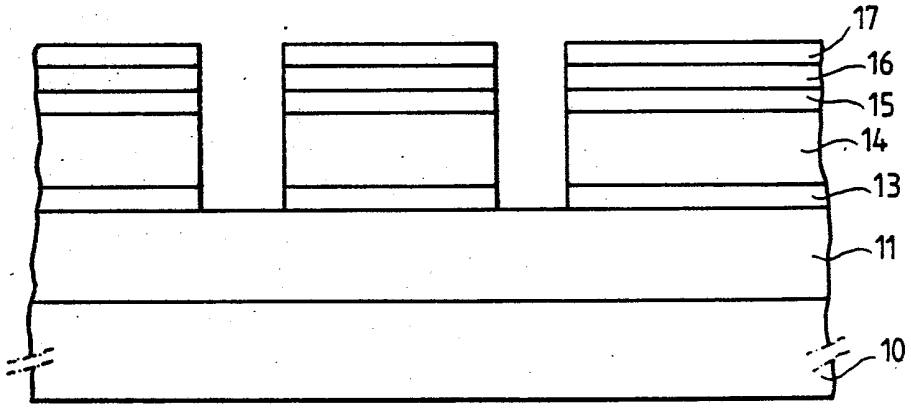


FIG.3b

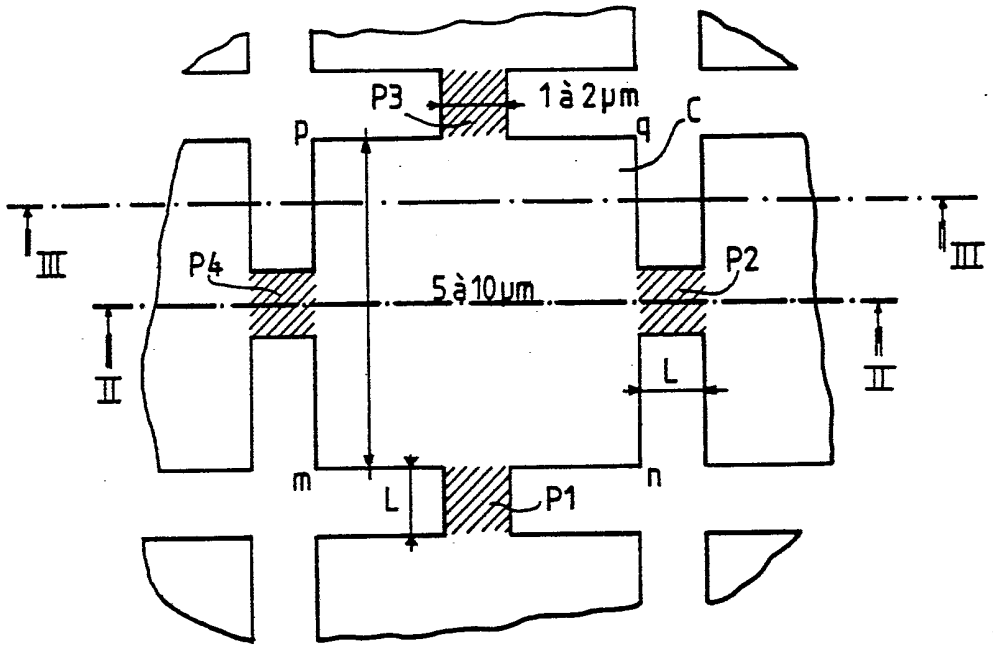

P3
1 à 2 µm
p
q
C
III
III
P4
5 à 10 µm
P2
II
II
L
m
L
P1
n

FIG. 3a

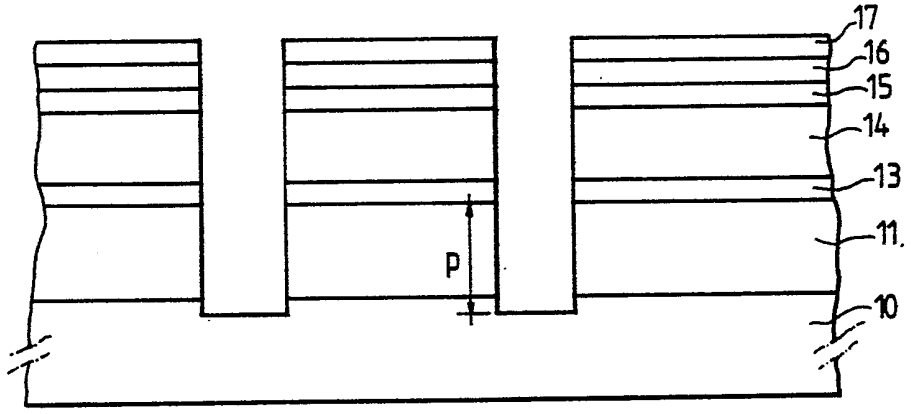

17
16
15
14
13
11
P
10

FIG. 4

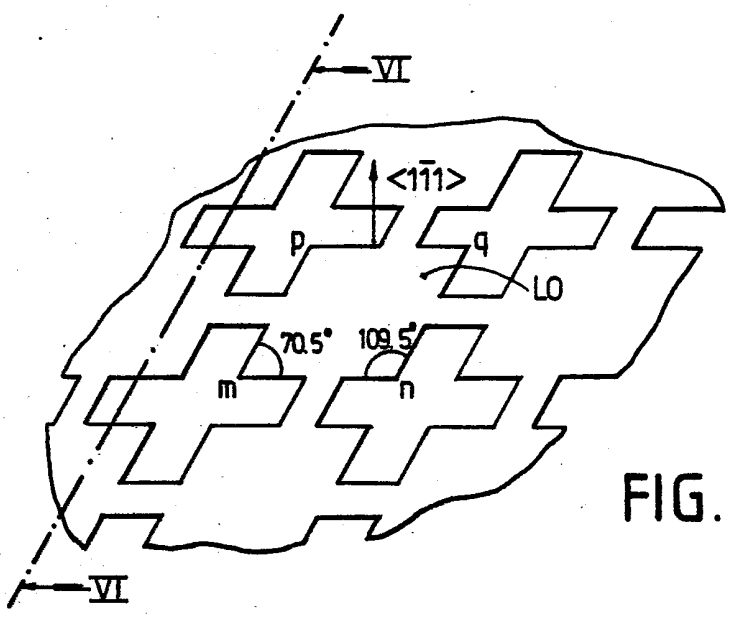


FIG.5

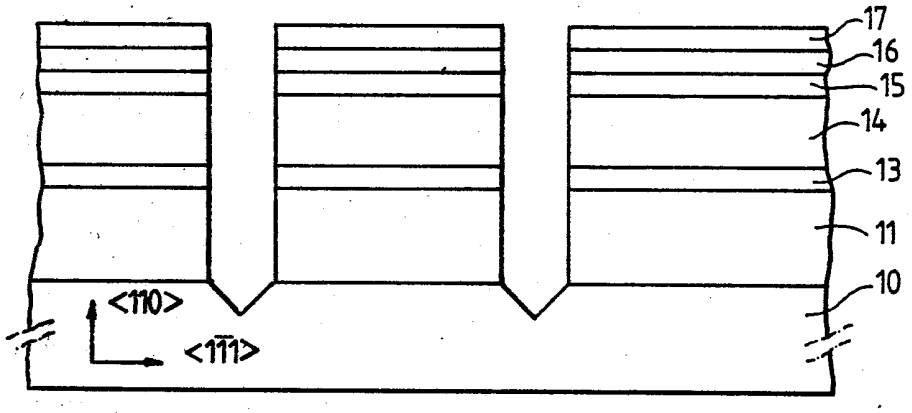


FIG.6

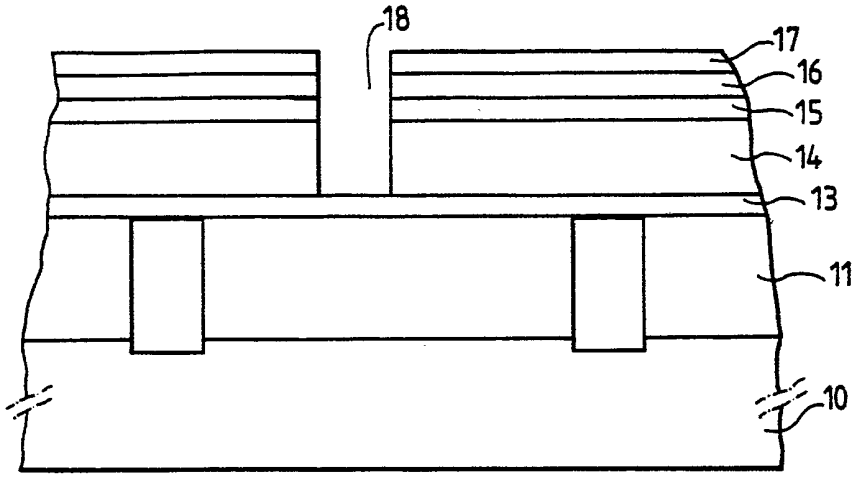


FIG.7a

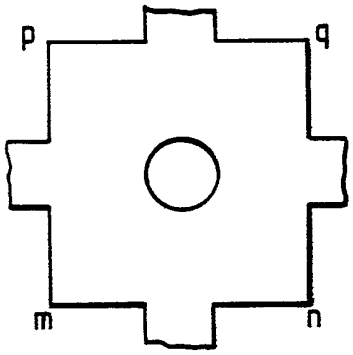


FIG.7b

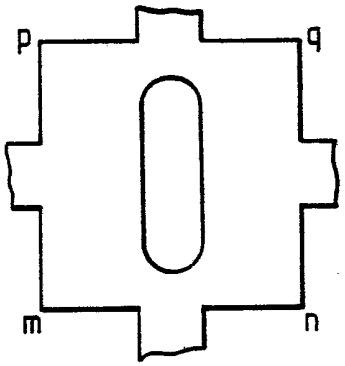


FIG.7c

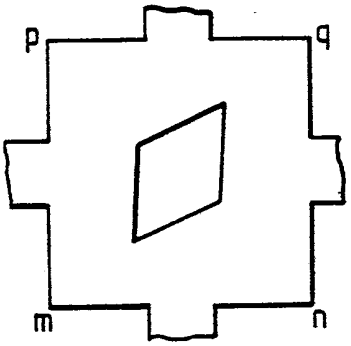


FIG.7d

FIG. 8

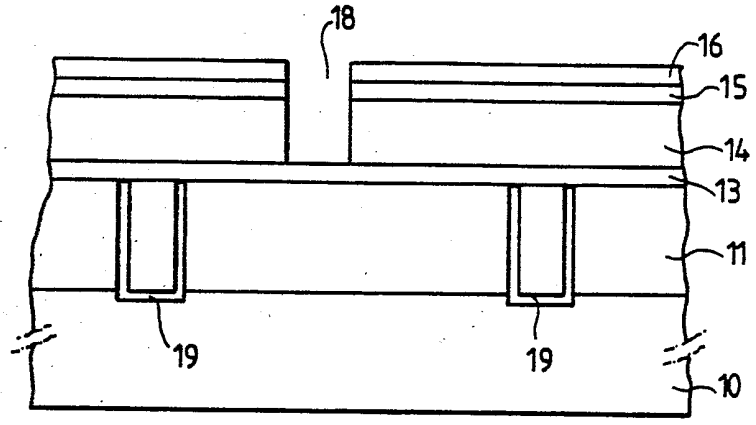


FIG. 9

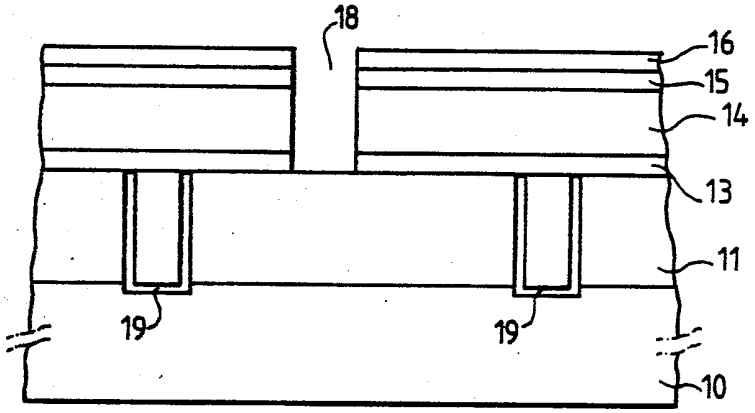


FIG. 10

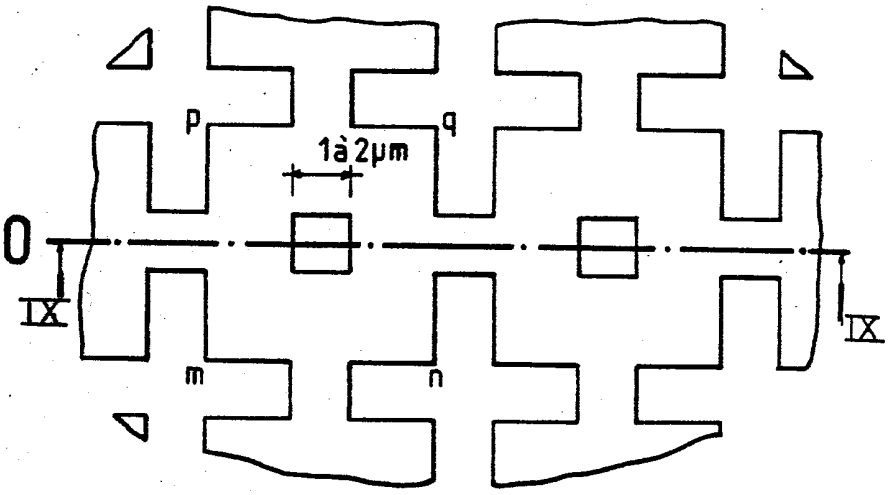


FIG.11a

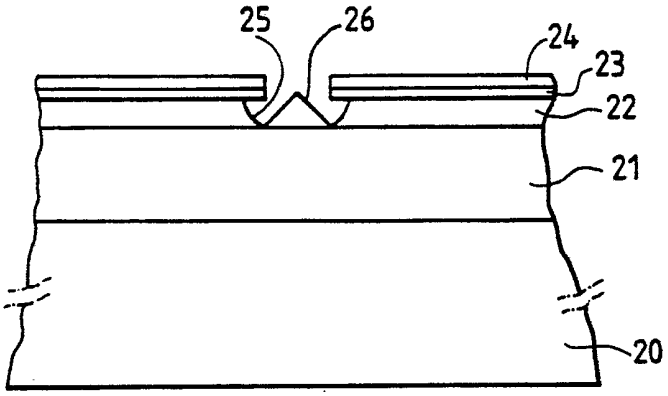


FIG.11b

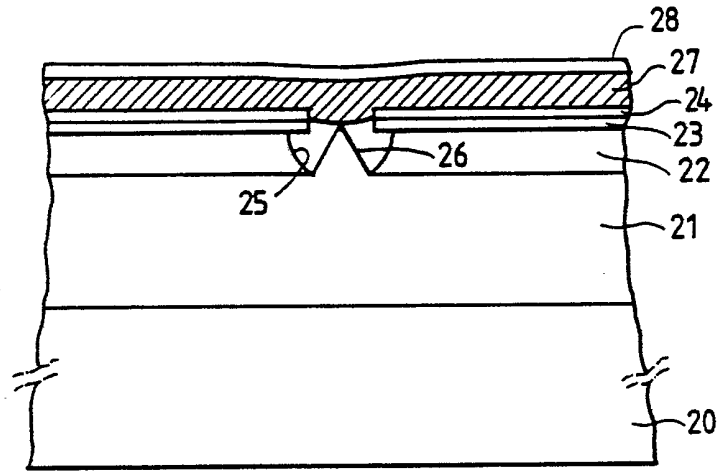


FIG.11c

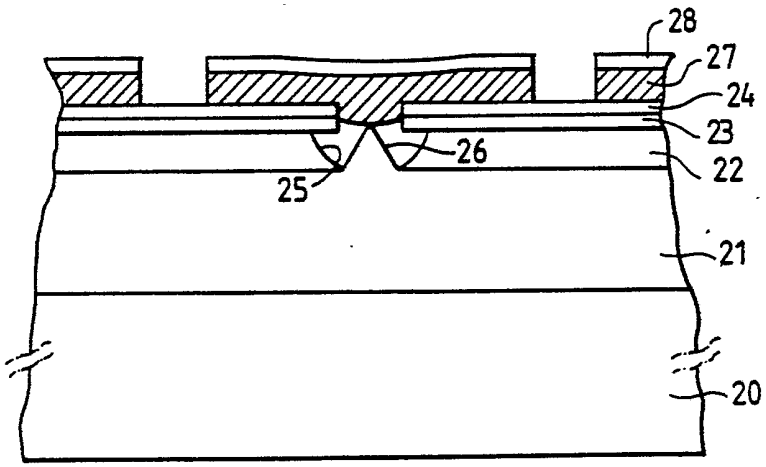


FIG.11d

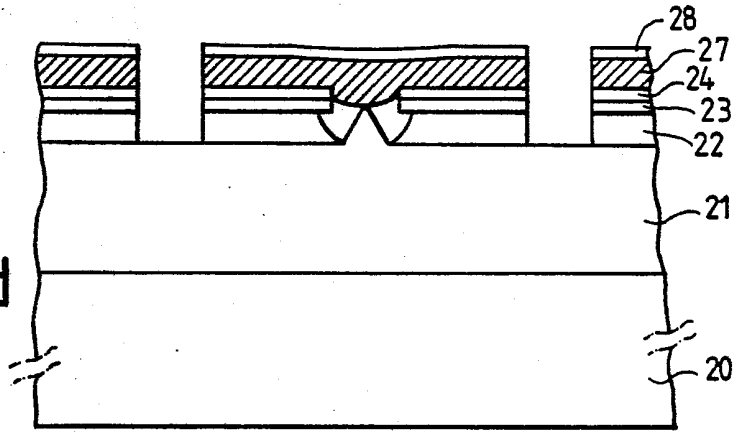
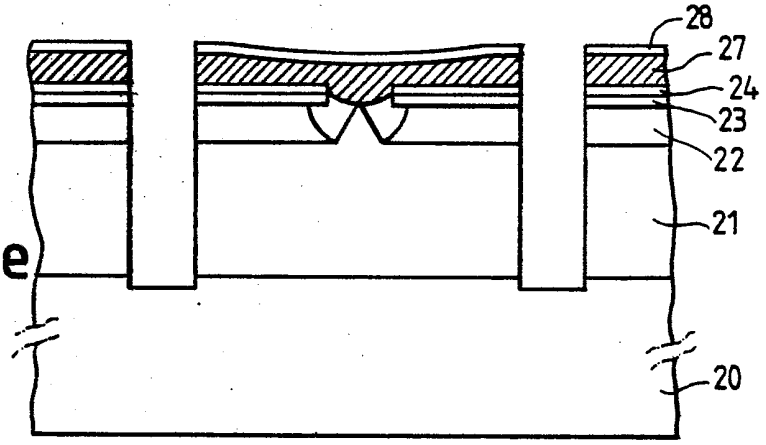


FIG.11e



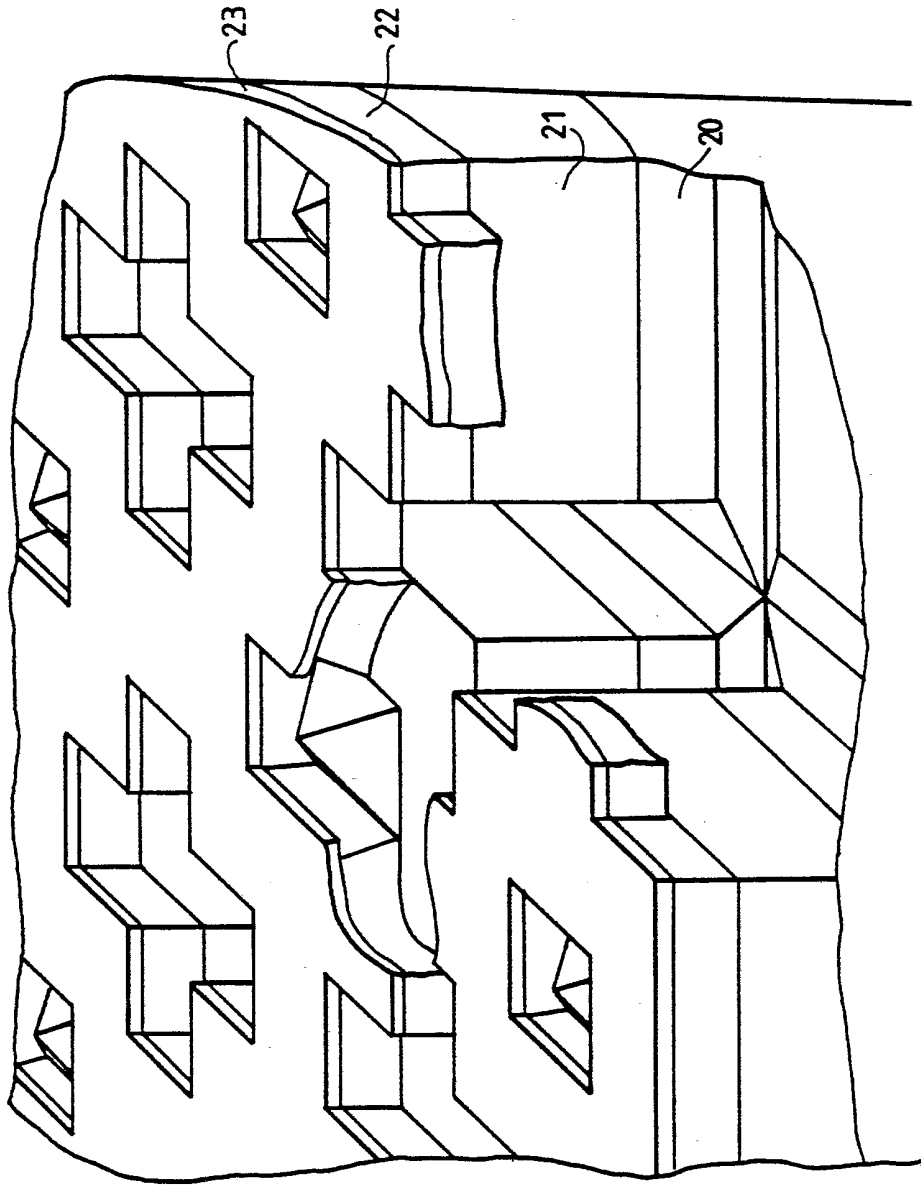


FIG.12

FIG.13a

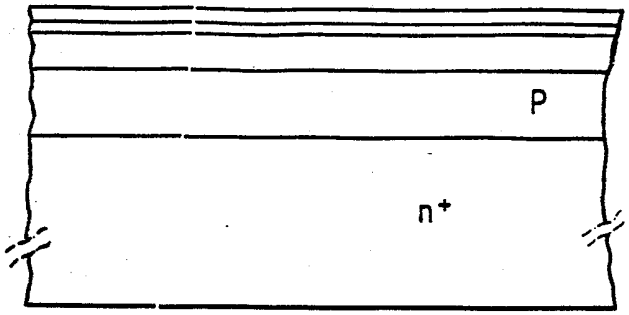


FIG.13b

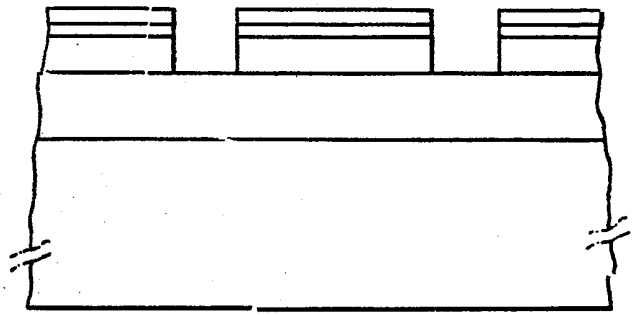


FIG.13c

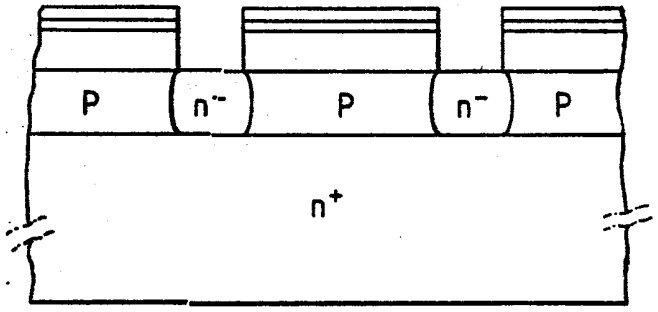


FIG.13d

