

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

**2 460 037**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 79 16055**

(54) Procédé d'auto-alignement de régions différemment dopées d'une structure de semiconducteur.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). H.01 L 21/32.

(22) Date de dépôt..... 22 juin 1979, à 14 h 55 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 3 du 16-1-1981.

(71) Déposant : Société dite : THOMSON-CSF, SA, résidant en France.

(72) Invention de : Marcel Roche.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Michel de Beaumont SPI-C, SCPI,  
173, bd Haussmann, 75360 Paris Cedex 08.

La présente invention concerne un procédé d'auto-alignement de régions dopées différemment, notamment les régions des émetteurs et des contacts de base, en particulier pour la fabrication de transistors et de circuits intégrés.

5 Dans le domaine de la réalisation de dispositifs à semi-conducteurs dotés de performances élevées, concernant par exemple le temps de commutation, le gain en fréquence, le rapport signal/bruit, etc., on est conduit à réduire tous les éléments parasites, ce qui entraîne en général une miniaturisation de plus en plus  
10 poussée de tout ou partie des dimensions. Indépendamment des performances, cette miniaturisation est recherchée pour accroître la densité d'intégration dans le cas des circuits intégrés. En ce qui concerne la profondeur, la réduction dans cette direction est conditionnée par la maîtrise des profils de distribution des  
15 impuretés dopantes, qui est acquise par exemple au moyen de l'implantation ionique. Mais, en ce qui concerne l'étendue en surface, un facteur limitatif important est la précision que l'on peut espérer du positionnement relatif des ouvertures ménagées dans la structure de base et servant à définir les différentes régions  
20 à doper, à savoir les régions des émetteurs et des contacts de base.

Dans l'art antérieur il est connu d'utiliser à cet effet une technique dite "d'auto-alignement", selon laquelle on réalise un positionnement relatif de deux ouvertures et de régions à dopage différent obtenues à partir de ces ouvertures et de manière que les ouvertures ou les régions ne se chevauchent pas, tout en étant situées à une distance relative aussi réduite que possible. Ci-après on va décrire, en référence aux figures 1 à 11 annexées à la présente demande, deux exemples connus de mise en œuvre de cette technique dans le cas de la fabrication d'un transistor hyperfréquence, du type réalisé avec une structure interdigitée classique, selon laquelle l'émetteur du transistor est formé de doigts alternés avec des contacts de base.

Selon une technique classique (figure 1), on dépose sur 35 un substrat 1, par exemple de type  $n^+$ , une couche épitaxiale de même type (n) 2. Après le dépôt d'une couche de masquage, par exemple une couche d'oxyde 3, on réalise par photogravure des ouvertures, à travers lesquelles on introduit des impuretés de type p de manière à créer des zones faiblement résistives 4, qui sont destinées à recevoir ultérieurement un métal de contact. On réalise

alors une autre ouverture 5 dans la couche d'oxyde de masquage 3 et l'on forme la base 6 par implantation ionique ou par diffusion. Ensuite on dépose une nouvelle couche de masquage 7, par exemple d'oxyde, sur la base 6. On réalise alors les régions d'émetteurs 5 8 par la technique connue de la photogravure, les émetteurs étant alors obtenus par diffusion ou implantation d'impuretés, de type n dans le cas considéré. La fin de la procédure, relative à la photogravure des zones de contact, au dépôt métallique et à la photogravure des interconnexions, est alors mise en oeuvre de 10 façon connue et n'est donc pas représentée sur la figure.

Avec la procédure indiquée ci-dessus, la distance que 15 l'on peut obtenir entre les émetteurs ne peut guère être inférieure à 3  $\mu$  sans mise en oeuvre de la technique d'auto-alignement, qui permet d'abaisser ce chiffre de façon reproductible à 1  $\mu$  ou à quelques dixièmes de micron, et donc d'améliorer le facteur de mérite du dispositif, qui dépend entre autres étroitement de cette distance.

Selon un premier procédé connu sous le nom de masquage composé, on peut réduire cette distance à 2  $\mu$  et ce de façon reproductible, en inscrivant toutes les ouvertures, correspondant 20 aux différentes régions à doper, dans un masque "mémoire" et en sélectionnant successivement chacune des ouvertures au moyen d'un masque de sélection. La séquence des opérations est reproduite 25 sur les figures 2 à 5 annexées. Sur un substrat 9 de type n<sup>+</sup> par exemple, on dépose une couche épitaxiale de même type 10, et, après formation d'une couche de masquage, par exemple d'oxyde 11, on réalise une ouverture dont les bords sont repérés par 12 et au niveau de laquelle on réalise la base 13 par diffusion ou par 30 implantation d'ions. Ensuite on dépose une couche de masquage 14, par exemple d'oxyde, et l'on aboutit alors à la structure de la figure 2. Puis, à l'aide d'un masque composé 15 (figure 3) comportant les ouvertures 16 pour la réalisation des émetteurs et les 35 ouvertures 17 pour la réalisation des contacts de base, c'est-à-dire comportant les deux types de régions à auto-aligner, on effectue par photolithographie classique une gravure sur environ la moitié de l'épaisseur de la couche 14, au niveau des ouvertures 16 et 17. Ensuite (figure 4) en utilisant un masque 18 de sélection des contacts de base, dont les ouvertures 19 sont plus 40 grandes que leurs homologues 17 du masque composé 15, d'une distance égale au maximum de l'erreur possible de positionnement

imputable aux machines et/ou à l'opérateur, on ouvre les régions des contacts de base, ce qui aboutit à la structure représentée sur la figure 5, dans laquelle on effectue alors une diffusion, au niveau des ouvertures, dans les régions 20, après enlèvement du masque 18. La photogravure des émetteurs est réalisée selon le même principe à l'aide d'un masque 21 de sélection des émetteurs 4 (figure 6), dont les ouvertures sont plus grandes que leurs homologues du masque composé, d'une distance encore égale au maximum de l'erreur de positionnement possible, puis on effectue la diffusion du/des émetteurs 22, après élimination du masque 21.

Selon un autre procédé connu d'auto-alignement décrit au brevet U.S. No. 3.951.693, il est possible de ramener la distance entre les régions à doper à quelques dixièmes de micron. La séquence des opérations, illustrée sur les figures 7 à 11 annexées à la présente demande, est la suivante. La formation de la couche épitaxiale 23 sur un substrat 24, la réalisation de la couche de masquage 25, la photogravure et la diffusion de la base 26 s'effectuent de la façon classique déjà indiquée dans l'exemple précédent. Ensuite on dispose une couche de nitrure de silicium 27 et une couche de silice 28, qui sont ensuite photogravées avec un même masque non représenté, comportant les motifs des émetteurs, et l'on implante le ou les émetteurs 29, après enlèvement du masque, conformément à la figure 8. Le nitrure 27 protégé par la couche de silice 28 située au-dessus est gravé latéralement comme indiqué sur la figure 9 (flèches 30). On élimine alors la couche de silice 28 et l'on forme une autre couche de silice 31 (figure 10), par un traitement thermique approprié, sur les zones de silicium non recouvertes par la couche de nitrure 27. Après suppression de cette dernière, on réalise par dopage les régions fortement dopées 32 de type p<sup>+</sup> (figure 11), qui se trouvent aussi auto-positionnées par rapport aux émetteurs 29, la distance ou l'espace-ment repéré par d sur la figure désignant l'écartement des régions différemment dopées 29 et 32 et pouvant être de l'ordre de quelques dixièmes de micron selon cette technique.

Mais, la qualité de l'auto-alignement dépend de la gravure latérale du nitrure. Or la reproductibilité de cette dernière est difficile à maîtriser car elle est liée étroitement à la couche de silice 28, qui elle-même est conditionnée par de nombreux paramètres pouvant fluctuer, comme par exemple le nettoyage avant

dépôt des couches de silice et de nitrure, les conditions du dépôt, la qualité des interfaces, etc.

5 Avec le premier procédé que l'on peut mettre en oeuvre de façon reproductible, on ne peut réduire la distance entre régions à auto-aligner qu'à environ  $2 \mu$ , alors que le second procédé permet d'abaisser cette distance à quelques dixièmes de micron, mais d'une façon non reproductible.

10 La présente invention a donc pour but d'indiquer un procédé d'auto-alignement de régions dopées différemment, qui permette d'obtenir de façon reproductible un auto-alignement desdites régions à quelques dixièmes de microns.

15 Ce procédé d'auto-alignement de régions dopées différemment, notamment des régions d'émetteurs de contacts de base, en particulier pour la fabrication de transistors et de circuits intégrés, est caractérisé par le fait qu'il consiste à utiliser le fluage contrôlé d'une résine photosensible.

20 Un avantage de cette méthode est de ne pas dépendre des conditions d'adhérence entre couches. Le principe utilisé consiste à graver une couche de nitrure de silicium déposée sur le silicium, les zones conservées correspondant à l'une des régions à doper, par exemple l'émetteur, puis -sans ôter la résine photosensible ayant servi à la photogravure- à soumettre cette résine à un fluage à l'aide d'un traitement thermique approprié pour obtenir un élargissement régulier du masque de résine autour des éléments 25 de nitrure, les régions non recouvertes définissant la deuxième région, par exemple celle correspondant à la base extrinsèque  $p^+$ , située autour de l'émetteur. Cette dernière est réalisée au moyen d'une triple implantation d'ions de bore. Après suppression de la résine de masquage les zones d'émetteur sont alors dégagées par 30 une oxydation du silicium découvert et les éléments de nitrure sont ensuite éliminés. On peut alors réaliser l'émetteur par diffusion ou par implantation.

35 A titre d'exemple on a décrit ci-dessous et illustré schématiquement aux dessins annexés un mode d'exécution du procédé conforme à l'invention.

Les figures 1 à 11, dont il a déjà été fait mention, concernent deux techniques d'auto-alignement connues dans l'art antérieur.

40 Les figures 12 à 17 illustrent les diverses phases de mise en oeuvre du procédé conforme à l'invention.

En se référant aux figures 12 à 17, on va décrire l'application non limitative du procédé selon l'invention à un transistor NPN hyperfréquence. Les valeurs numériques indiquées sont données à titre indicatif uniquement.

Sur un substrat 33 de type  $n^+$ , dont la résistivité est par exemple de l'ordre de 1/100ème  $\Omega \cdot \text{cm}$ , on réalise une couche épitaxiale 34 de type  $n$ , d'une épaisseur de 2 à 4  $\mu$  et d'une résistivité comprise entre 0,7 et 2  $\Omega \cdot \text{cm}$  (voir figure 12). Sur cette couche on réalise, par traitement thermique en atmosphère oxydante à une température comprise entre 950°C et 1100°C, une couche de silice 35, dont l'épaisseur est de l'ordre de 500 Å et dont le but essentiel est de réduire les contraintes mécaniques, sources de défauts cristallins, produites lors des traitements thermiques par la présence d'une couche de nitrure de silicium déposée sur le silicium. On dépose la couche de nitrure de silicium 36 d'une épaisseur d'environ 1000 Å et un nouveau traitement thermique oxydant transforme la partie supérieure de la couche de nitrure (quelques dizaines d'angstroms) en silice, ce qui permettra des photogravures ultérieures parfaitement définies.

Ensuite on effectue une photogravure de différentes couches de diélectrique (silice, nitrure, silice) pour conserver les couches sur la structure de base représentée sur la figure 12. De préférence lors de la photogravure on dissout la silice et le nitrure respectivement dans une solution de  $\text{FH}-\text{FNH}_4$  et dans un plasma de fréon.

Comme indiqué par une ligne de pointillés 37 sur la figure 13, on retire alors une couche supérieure de silicium 38 d'une épaisseur de l'ordre de 0,6  $\mu$ , par dissolution dans une solution à base de FH et de  $\text{HNO}_3$ . Le silicium mis à nu est alors oxydé pour créer une couche d'oxyde 39 dont l'épaisseur est double de celle de l'évidemment 38 ce qui garantit la quasi-planéité de la surface et donc la fiabilité du réseau d'interconnexions, car la majeure partie de ce dernier se trouve éloignée du collecteur en raison de la forte épaisseur d'oxyde, ce qui réduit les capacités parasites. On implante alors la base 40 à travers les couches 35 et 36 en utilisant par exemple des ions de bore avec une dose comprise entre  $4 \cdot 10^{13} \text{ At/cm}^2$  et  $1,5 \cdot 10^{14} \text{ At/cm}^2$  et une énergie comprise entre 70 kev et 150 kev. Ensuite on réalise une photogravure de la couche de nitrure 36 oxydée en utilisant une résine photosensible 41 de manière à conserver le nitrure au niveau des

régions des émetteurs. On aboutit alors à la structure représentée sur la figure 14.

Ensuite, conformément à la figure 15, en conservant les parties de résine photosensible 41, on soumet l'ensemble à un traitement thermique d'une durée comprise entre 20 minutes et 2 heures et égale de préférence à 60 minutes et à une température comprise entre 125°C et 170°C et égale de préférence à 150°C (pour une résine du type AZ111 fabriquée par la firme Shipley) pour amorcer un début de fluage. Ce fluage se poursuit normalement pendant l'implantation, effectuée ensuite et servant à réaliser la zone de base extrinsèque<sup>42</sup>. Comme on le voit sur la figure 15 on obtient ainsi entre les zones E qui correspondent aux émetteurs proprement dits, réalisés ultérieurement, et les régions latérales de la structure une région de largeur uniforme d de seulement quelques dixièmes de micron, compte tenu de l'épaisseur des résines habituellement utilisées. On peut ajuster cette largeur d par le traitement thermique en mettant en oeuvre une chaleur plus ou moins importante. Alors, et ce déjà au cours du traitement thermique pour l'obtention du fluage de la résine, on réalise la zone de base extrinsèque 42 sus-mentionnée par implantation ionique permettant d'obtenir un profil optimisé fournissant que de faibles résistances parasites. Cette implantation s'effectue à travers la couche de silice 35 en utilisant de préférence des ions de bore et est triple avec pour valeurs indicatives dose/énergie, dans l'ordre d'exécution :  $3 \cdot 10^{15}$  At/cm<sup>2</sup>/80 kev,  $10^{15}$  At/cm<sup>2</sup>/50 kev et  $3 \cdot 10^{14}$  At/cm<sup>2</sup>/25 kev. Cette triple implantation fournit un profil de dopage dont la variation est fonction de la distance à la périphérie de l'émetteur et assure le meilleur compromis faible résistance/haute efficacité d'injection.

Ensuite on dissout la résine de masquage 41 dans un plasma d'oxygène et l'on accroît la couche de silice 35 pour obtenir une couche finale de silice<sup>43</sup>, dans les régions non recouvertes par le nitrure 36, au moyen d'un traitement oxydant servant également à la restauration du silicium et l'on obtient la structure de la figure 16. On notera que ce traitement oxydant se traduit également par une légère oxydation latérale du silicium sous les éléments ou îlots de nitrure 36 et donc il se produit une légère consommation du silicium situé au-dessous des îlots de nitrure et, par suite, un léger rétrécissement de la largeur des régions du/des émetteurs,

et donc un léger accroissement de  $d$ , dont il faut tenir compte lors du fluage antérieur. A titre d'exemple l'épaisseur totale de la couche de silice 43 est de l'ordre de  $2000 \text{ \AA}$ . Après élimination des îlots de nitrule 36 par dissolution dans une solution 5 d'acide orthophosphorique bouillant, ainsi que de la couche de silice sous-jacente par désoxydation partielle, on réalise les émetteurs 44 par implantation d'ions arsenic par exemple, avec une dose comprise entre  $3 \cdot 10^{15} \text{ At/cm}^2$  et  $6 \cdot 10^{15} \text{ At/cm}^2$  et une énergie de l'ordre de 80 kev (voir figure 17). Un nouveau traitement thermique compris entre  $920^\circ\text{C}$  et  $970^\circ\text{C}$  assure la régénération du silicium. Le ou les émetteurs se trouvent ainsi auto-positionnés par rapport aux régions  $p^+$  42 de base extrinsèque, à une distance de quelques dixièmes de micron. Ensuite on effectue 10 la photogravure des contacts de base dans les régions  $p^+$  42 et on 15 réalise enfin le réseau d'interconnexions selon l'une des techniques classiques bien connues.

On notera que l'auto-alignement ainsi obtenu des émetteurs par rapport aux régions de base extrinsèque est en outre ajustable par réglage de la chaleur apportée pour l'opération de fluage 20 et de la durée de cette dernière.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour réaliser l'auto-alignement de régions dopées différemment, notamment de régions d'émetteurs et de contacts de base pour la fabrication de transistors et de circuits intégrés, caractérisé par le fait qu'il consiste à utiliser le fluage contrôlé d'une résine définissant l'écartement réciproque desdites régions.
2. Procédé suivant la revendication 1, selon lequel sur une couche de silicium on dépose une couche de silice, puis une couche de nitrure de silicium que l'on grave après avoir déposé un masque de résine photosensible, les zones conservées de la couche de nitrure correspondant aux régions des émetteurs réalisés ultérieurement, caractérisé par le fait que l'on conserve les parties subsistantes de la couche de résine sur les zones de nitrure, qu'on effectue ledit fluage de la résine qui retombe et s'étale de façon uniforme autour des zones de nitrure en les séparant des zones restées nues et définissant la seconde région, par exemple la base extrinsèque p<sup>+</sup>, réalisée par implantation ionique.
3. Procédé suivant la revendication 2, caractérisé par le fait que le fluage de la résine est réalisé sous l'effet d'un traitement thermique et ensuite conjointement sous l'effet du bombardement d'ions lors de l'implantation ionique.
4. Procédé suivant la revendication 3, caractérisé par le fait que le traitement thermique s'effectue entre 125°C et 170°C et de préférence à 150°C pendant une durée comprise entre 20 minutes et 2 heures, et de préférence pendant 60 minutes.
5. Procédé suivant l'une des revendications 3 ou 4, caractérisé par le fait que l'implantation ionique est une implantation triple d'ions bore avec des couples dose/énergie consécutifs ayant pour valeurs  $3 \cdot 10^{15}$  At/cm<sup>2</sup>-80 kev,  $10^{15}$  At/cm<sup>2</sup>-50 kev,  $3 \cdot 10^{14}$  At/cm<sup>2</sup>-25 kev.
6. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 2 à 5, caractérisé par le fait qu'après l'implantation de la zone de base extrinsèque p<sup>+</sup> et l'élimination de la couche de résine de masquage, on dégage les zones des émetteurs par une oxydation du silicium découvert, à laquelle est associée une oxydation latérale localisée du silicium situé au-dessous des zones subsistantes de nitrure, produisant une légère réduction de la largeur des émetteurs.
7. Procédé suivant la revendication 6, caractérisé par

le fait qu'on règle l'écartement d'auto-alignement des régions dopées différemment en modifiant les caractéristiques du traitement thermique de fluage et/ou celles de l'oxydation finale du silicium.

- 5        8. Application du procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 7, à la fabrication d'un transistor hyperfréquence.

2460037

PL. I. 6

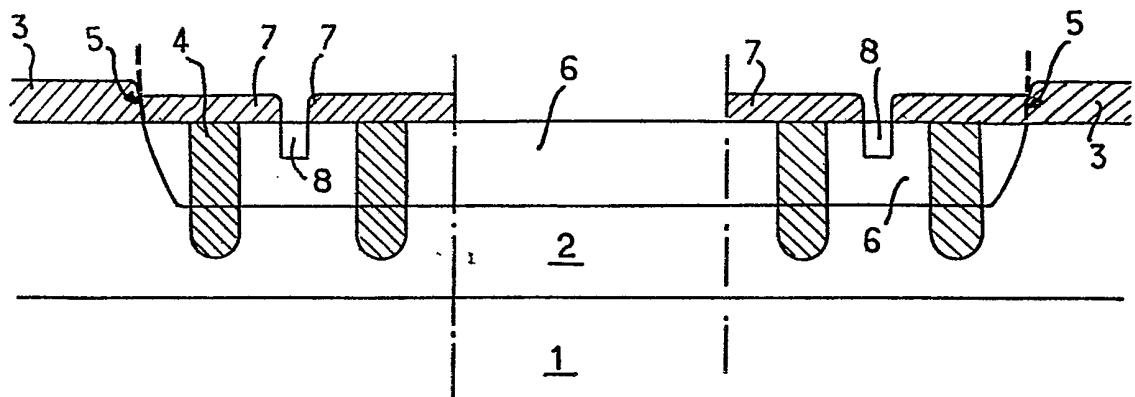


FIG.1

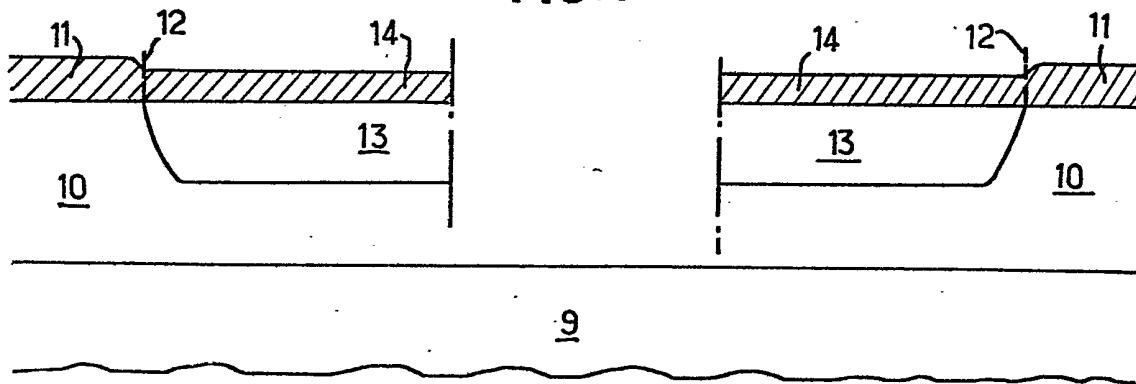


FIG.2

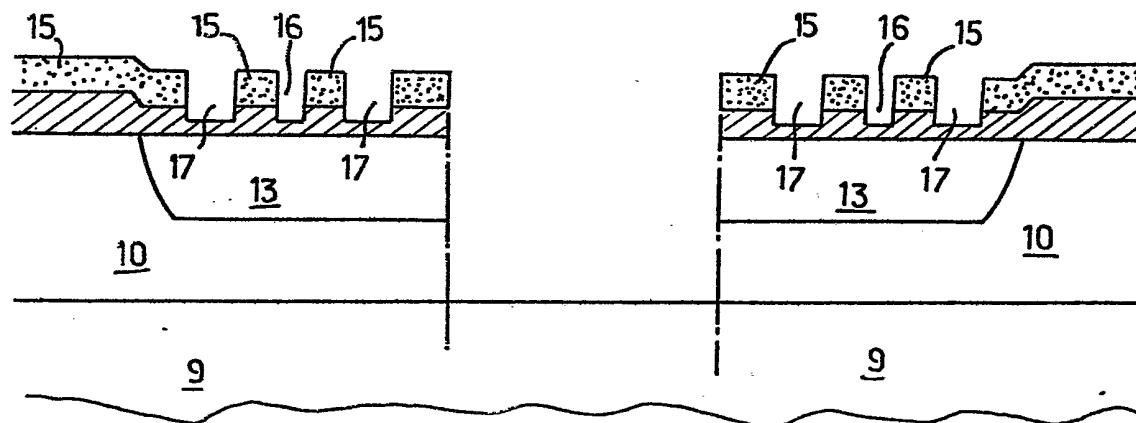


FIG.3

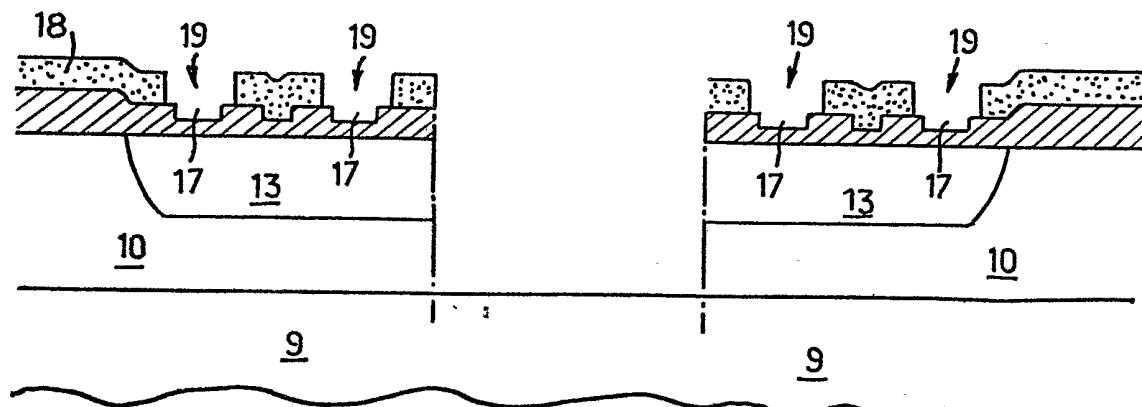


FIG.4

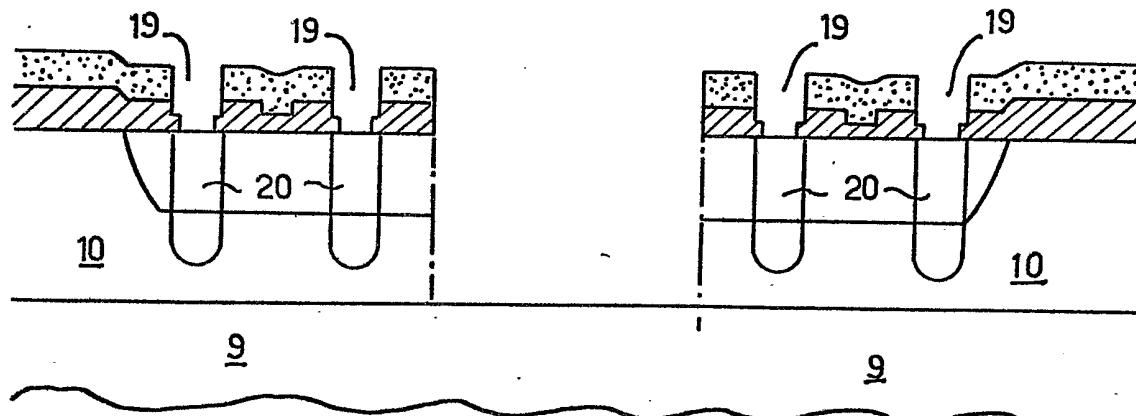


FIG.5

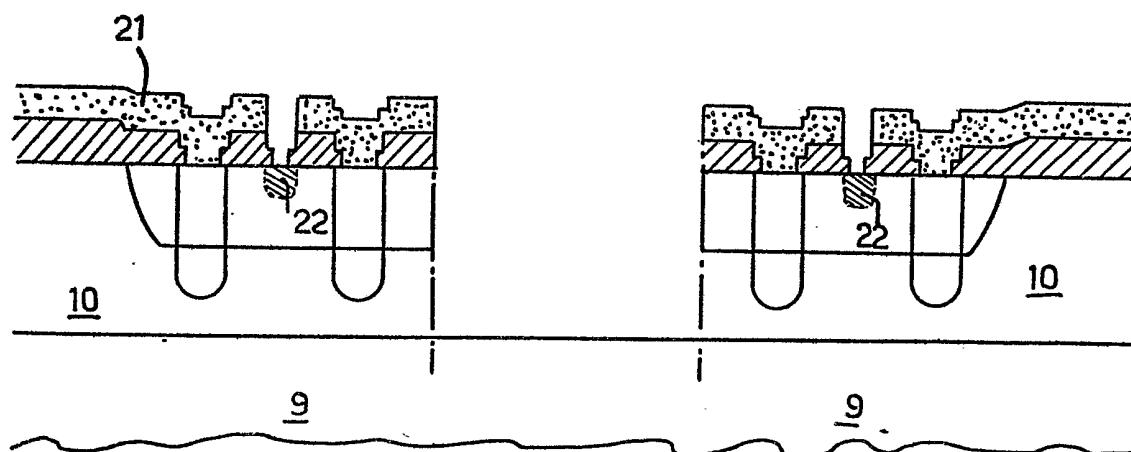


FIG.6

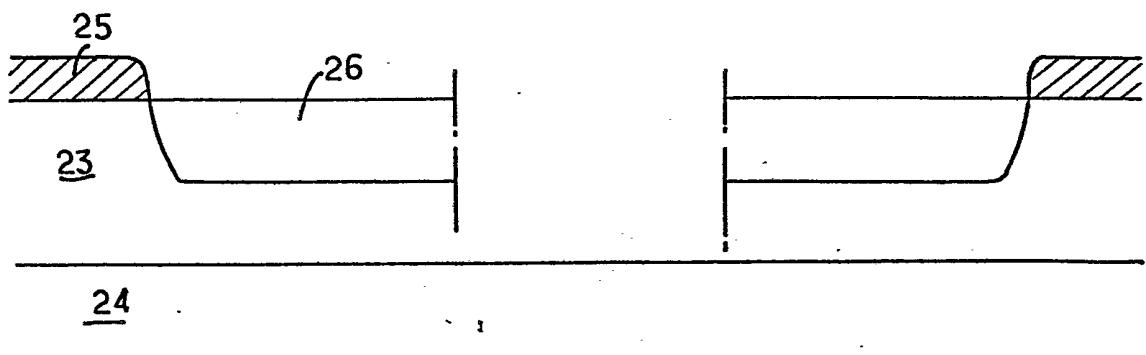


FIG.7

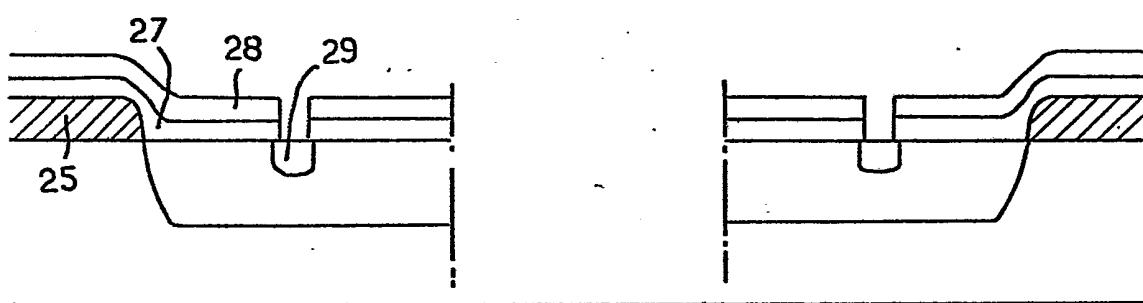


FIG.8

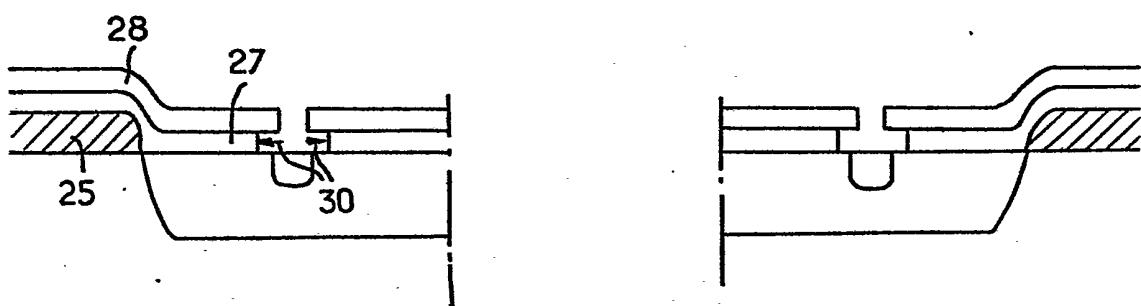


FIG.9

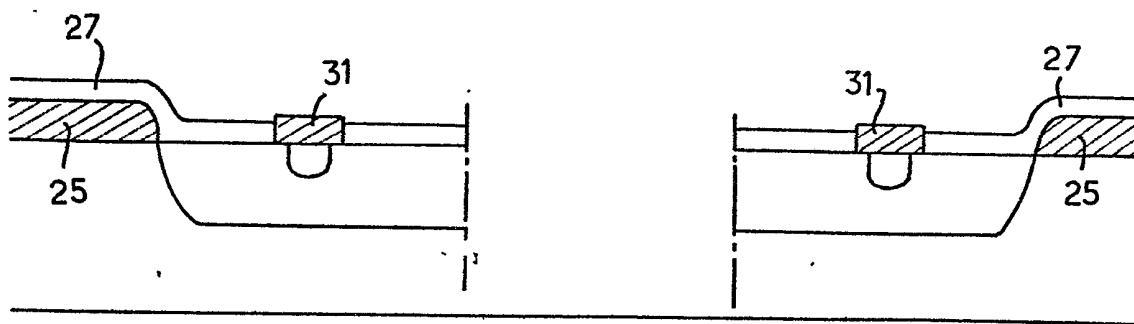


FIG.10

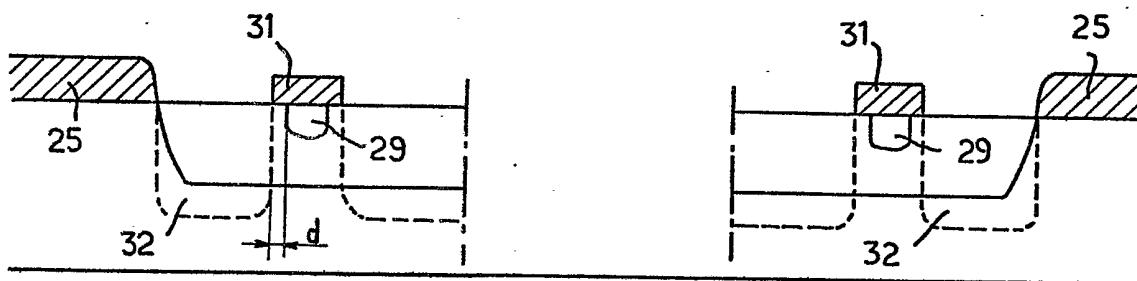


FIG.11

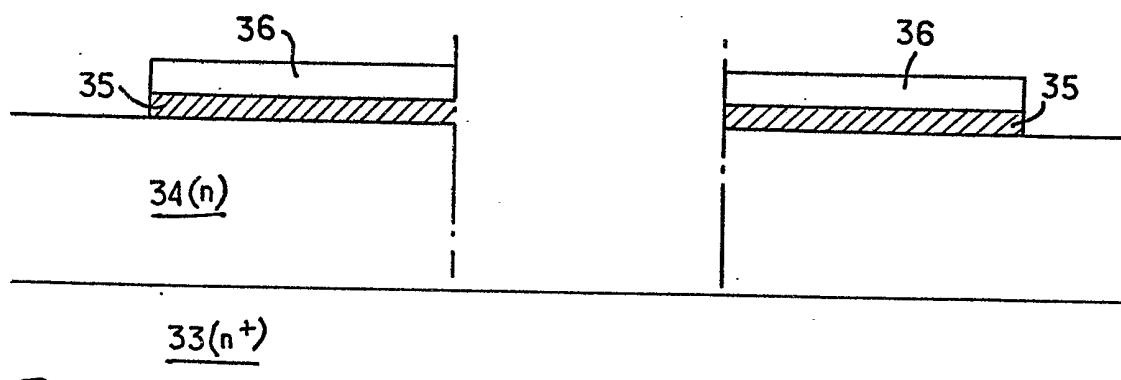


FIG.12

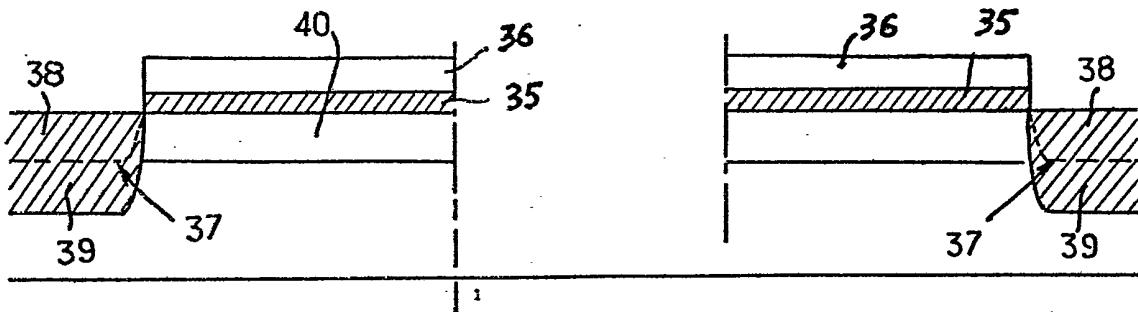


FIG.13

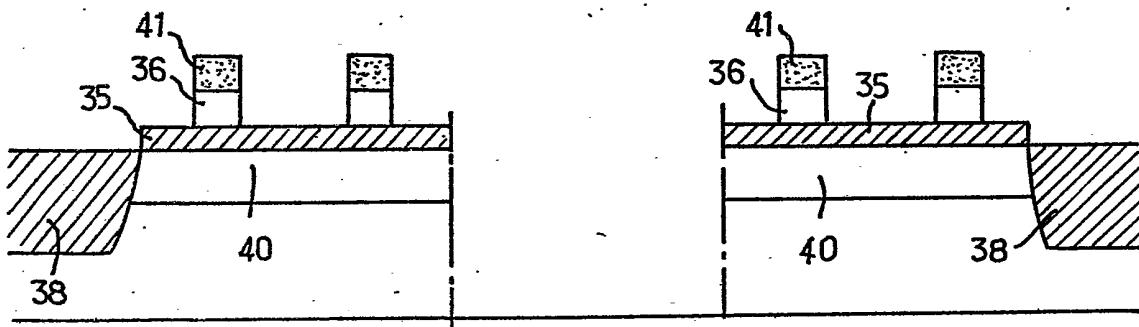


FIG.14

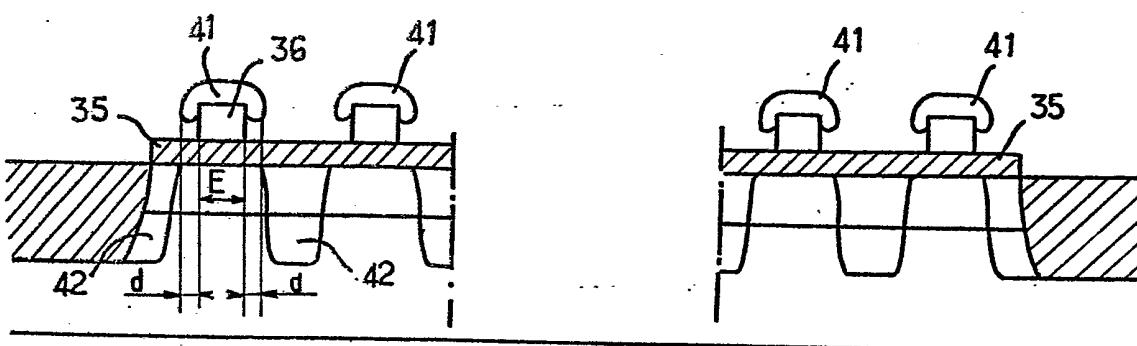


FIG.15

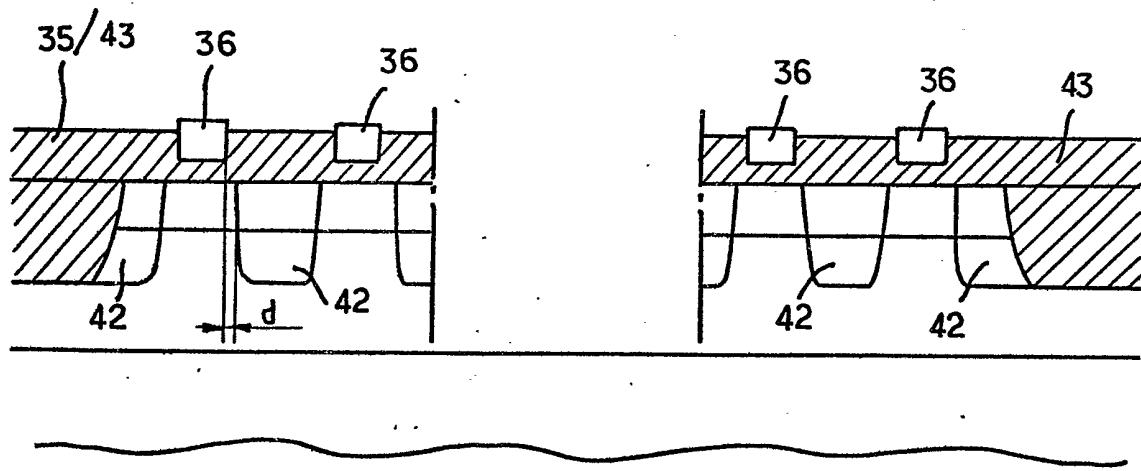


FIG.16

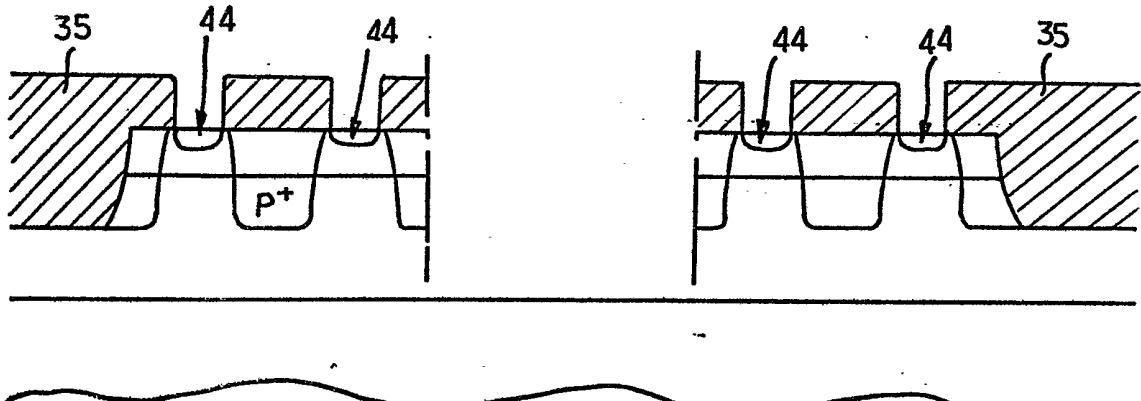


FIG.17