

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) Nº de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 891 663

(21) Nº d'enregistrement national :
06 08628

(51) Int Cl⁸ : H 01 L 21/20 (2006.01)

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 02.10.06.

(30) Priorité : 30.09.05 US 60722510; 25.09.06 US 11534855.

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 06.04.07 Bulletin 07/14.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.

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

(71) Demandeur(s) : INTERNATIONAL RECTIFIER CORPORATION—US.

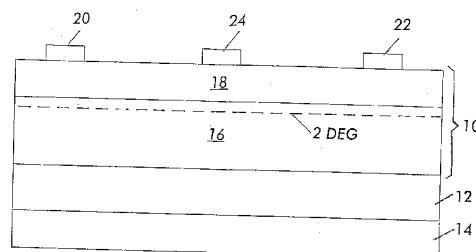
(72) Inventeur(s) : BEACH ROBERT, BRIDGER PAUL et BRIERE MICHAEL A.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : CABINET LAVOIX.

(54) PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN DISPOSITIF A SEMI-CONDUCTEUR.

(57) Un procédé de fabrication d'un dispositif à semi-conducteur de puissance de III-niture qui comprend la croissance d'une couche de transition (13) sur un substrat en utilisant au moins deux procédés de croissance distincts et différents.



FR 2 891 663 - A1



La présente demande revendique l'avantage de la demande provisoire U.S. N° 60 / 722 510, déposée le 30 septembre 2005, intitulée « Method for Improving the Quality of an Aluminium Nitride Layer in a III-Nitride Semiconductor Device » 5 (« Procédé pour améliorer la qualité d'une couche de nitride d'aluminium dans un dispositif à semi-conducteur de III-nitride »), à laquelle une revendication de priorité est par les présentes effectuées.

La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un dispositif à semi-conducteur.

10 La présente invention concerne les dispositifs à semi-conducteur et plus particulièrement les dispositifs à semi-conducteur de III-nitride ainsi que les procédés de fabrication des dispositifs à semi-conducteur de III-nitride.

Un semi-conducteur III-V est un matériau semi-conducteur qui est constitué d'un élément de groupe III et d'un élément de groupe V. Les semi-conducteurs III-V 15 sont souhaitables pour les applications de puissance, mais ils n'ont pas été considérablement exploités en raison en partie des difficultés de fabrication.

Par exemple, un semi-conducteur III-V commercialement souhaitable est le III-nitride. Il convient de noter que tel qu'utilisé dans les présentes le semi-conducteur de III-nitride ou semi-conducteur à base de GaN désigne un alliage de 20 semi-conducteur provenant du système InAlGaN. Des exemples d'alliages provenant du système InAlGaN comprennent GaN, AlGaN, AlN, InN, InGaN et InAlGaN. Il convient de noter que bien que l'azote soit présent dans chaque alliage, la présence ainsi que la proportion de In, de Al ou de Ga peuvent être variées afin d'obtenir un alliage dans le système InAlGaN.

25 Les dispositifs à semi-conducteur de III-nitride sont souhaitables pour les applications de puissance en raison en grande partie de la bande interdite haute des matériaux semi-conducteurs de III-nitride. Afin de fabriquer un dispositif à semi-conducteur de III-nitride au moins un alliage de semi-conducteur de III-nitride (c'est-à-dire un alliage provenant du système InAlGaN) doit être formé sur un 30 substrat. Les trois matériaux de substrat bien connus pour les dispositifs à semi-conducteur de III-nitride sont le saphir, le carbure de silicium (SiC) et le silicium (Si).

Les substrats de silicium sont davantage souhaitables du point de vue commercial en raison du bas coût et de la haute conductivité thermique. Cependant, en raison de l'inégalité des paramètres de maille et des différences de caractéristiques de dilatation thermique des alliages de semi-conducteur de III-nitrure et du silicium, les couches semi-conductrices de III-nitrure épaisses (par exemple, ayant une épaisseur supérieure à 1 micron) soit se craquelent soit entraînent le pliage de la plaque de silicium. Il convient de noter que le problème de craquelure associé aux couches semi-conductrices de III-nitrure épaisses ne se produit pas uniquement lorsqu'un substrat de silicium est utilisé et ainsi le problème 10 ne se limite pas au semi-conducteur de III-nitrure qui est formé sur les substrats de silicium.

Afin de surmonter le problème de craquelure, une couche de transition est disposée entre la partie active du dispositif et le substrat. En faisant ainsi référence à la figure 1, un dispositif à semi-conducteur de III-nitrure connu comprend une zone active de semi-conducteur 10 formée sur une couche de transition 12, qui est formée 15 sur un substrat 14. Le substrat 14 est, par exemple, une diode au silicium.

La zone active 20 comprend un premier corps de semi-conducteur de III-nitrure 16 d'une bande interdite et un deuxième corps de semi-conducteur de III-nitrure 18 d'une autre bande interdite formant une hétérojonction avec le premier corps de semi-conducteur de III-nitrure 16. Un gaz électronique bi-dimensionnel (2DEG) est formé au niveau de l'hétérojonction du premier corps de semi-conducteur de III-nitrure 16 et du deuxième corps de semi-conducteur de III-nitrure 18 au moyen duquel le courant circule entre une première électrode de puissance 20 (par exemple, une électrode source) et une seconde électrode de puissance 22 (par exemple, une électrode de drain) toutes deux électriquement couplées au deuxième corps de semi-conducteur de III-nitrure 18. Comme cela est bien connu, l'application d'une tension correcte sur une électrode grille 24 peut interrompre ou 25 rétablir le 2DEG afin de contrôler le courant entre la première électrode de puissance 20 et la seconde électrode de puissance 22.

Afin d'obtenir le meilleur contrôle possible du courant entre la première électrode de puissance 20 et la seconde électrode de puissance 22, il est souhaitable 30 de garantir que le courant ne peut trouver aucun autre cheminement que celui passant à travers le 2DEG. Cependant, il a été observé que le courant peut trouver

une ligne de fuite à travers la couche de transition 12 et à travers le substrat 14, lorsque le substrat 14 est électriquement conducteur.

Il est souhaitable de réduire ou d'éliminer les lignes de fuite à travers la couche de transition 12 afin d'améliorer les caractéristiques de commutation d'un 5 dispositif à semi-conducteur de puissance de III-nitride.

Afin de réduire ou d'éliminer les lignes de fuite à travers la couche de transition, un procédé selon la présente invention comprend la fourniture d'un substrat conducteur, la croissance d'une couche de transition de III-nitride sur une surface majeure dudit substrat en faisant croître au moins une première couche de 10 III-nitride en utilisant un premier procédé de croissance et au moins une deuxième couche de III-nitride sur ladite au moins première couche de III-nitride en utilisant un deuxième procédé de croissance, et la formation d'une zone active de semi-conducteur sur ladite couche de transition.

Suivant des modes particuliers de réalisation, le procédé selon l'invention 15 comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- le substrat est constitué de silicium ;
- le substrat est constitué de carbure de silicium ;
- le premier procédé est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE) et le deuxième procédé est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) ;
- le premier procédé est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE) et le deuxième procédé est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD) ;
- le premier procédé est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) et le deuxième procédé est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE) ;
- le premier procédé est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) et le deuxième procédé est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD) ;
- le premier procédé est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD) et le deuxième procédé est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) ;
- 30 - le premier procédé est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD) et le deuxième procédé est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE) ;

- le procédé selon l'invention comprend en outre la croissance d'une troisième couche de III-nitrure sur la deuxième couche de III-nitrure en utilisant un troisième procédé de croissance ;
- le premier procédé de croissance est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE), le 5 deuxième procédé de croissance est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) et le troisième procédé de croissance est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD) ;
- le premier procédé de croissance est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE), le 10 deuxième procédé de croissance est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD) et le troisième procédé de croissance est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) ;
- le premier procédé de croissance est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux 15 hydrures (HVPE), le deuxième procédé de croissance est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE) et le troisième procédé de croissance est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD) ;
- le premier procédé de croissance est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE), le deuxième procédé de croissance est le dépôt chimique en phase 20 vapeur organométallique (MOCVD) et le troisième procédé de croissance est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE) ;
- le premier procédé de croissance est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD), le deuxième procédé de croissance est l'épitaxie en phase 25 vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) et le troisième procédé de croissance est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE) ;
- le premier procédé de croissance est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD), le deuxième procédé de croissance est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE) et le troisième procédé de croissance est l'épitaxie en phase 30 vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) ;
- le procédé selon l'invention comprend une pluralité de premières couches de III-nitrure, une pluralité de deuxièmes couches de III-nitrure et une pluralité de troisièmes couches de III-nitrure, dans lequel les premières, lesdites deuxièmes et les 30 troisièmes couches de III-nitrure sont alternativement disposées ;
- la couche de transition est constituée de nitrure d'aluminium AlN ;

- la composition de la couche de transition est uniforme à travers l'épaisseur de celle-ci ;
 - la composition de la couche de transition est graduée à travers l'épaisseur de celle-ci ;
- 5 - la composition de la première couche de III-nitre est différente de celle de la deuxième couche de III-nitre ; et
- la composition de la première couche de III-nitre est différente de celle de la deuxième couche de III-nitre et de celle de la troisième couche de III-nitre et la composition de la deuxième couche de III-nitre est différente de celle de la
- 10 troisième couche de III-nitre.

La technique de croissance qui peut être utilisée dans un procédé de fabrication selon la présente invention peut être, par exemple, l'épitaxie par jets moléculaires (MBE), l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) et le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD). Ces techniques 15 peuvent être appliquées dans n'importe quelle séquence afin de former alternativement les couches de III-nitre jusqu'à ce que l'épaisseur souhaitée soit obtenue.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention deviendront apparents à partir de la description qui suit de l'invention qui fait référence aux 20 dessins joints.

La figure 1 montre une vue en coupe au travers d'un dispositif à semi-conducteur de III-nitre selon l'art antérieur.

La figure 2 illustre une partie d'un dispositif à semi-conducteur fabriqué selon le premier mode de réalisation de la présente invention.

25 La figure 3 illustre une partie d'un dispositif à semi-conducteur fabriqué selon une variation du premier mode de réalisation de la présente invention.

La figure 4 illustre une partie d'un dispositif à semi-conducteur fabriqué selon le second mode de réalisation de la présente invention.

La figure 5 illustre une partie d'un dispositif à semi-conducteur fabriqué 30 selon une variation du second mode de réalisation de la présente invention.

Selon la présente invention, afin de réduire la ligne de fuite à travers la couche de transition, la couche de transition est fait croître jusqu'à son épaisseur finale en utilisant au moins deux techniques de croissance distinctes.

En faisant référence à la figure 1, selon un premier mode de réalisation de la présente invention une couche de transition 13 est fait croître sur une surface majeure d'un substrat conducteur (par exemple, Si ou SiC) en faisant croître une première couche de III-nitrule 26 en utilisant un premier procédé de croissance puis 5 en faisant croître une deuxième couche de III-nitrule 28 sur la première couche de III-nitrule 26 en utilisant un deuxième procédé de croissance distinct et différent. Par la suite, une zone active peut être fait croître sur la couche de transition 13 fabriquée selon la présente invention.

Un procédé de croissance qui peut être utilisé dans un procédé de fabrication 10 selon la présente invention peut être, par exemple, l'MBE (Epitaxie par jets moléculaires ; en anglais : Molecular Beam Epitaxy), l'HVPE (Epitaxie en Phase Vapeur aux Hydrures ; en anglais : Hybride Vapour Phase Epitaxy) et le MOCVD (Dépôt Chimique en Phase Vapeur OrganoMétallique ; en anglais : MetalOrganic Chemical Vapour Deposition). Ces procédés peuvent être alternés selon n'importe 15 quelle manière souhaitée. Le tableau 1 fournit quelques combinaisons possibles.

Tableau 1

| | Ex. 1 | Ex. 2 | Ex. 3 | Ex. 4 | Ex. 5 | Ex. 6 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Première couche de III-nitrule 26 | MBE | MBE | HVPE | HVPE | MOCVD | MOCVD |
| Deuxième couche de III-nitrule 28 | HVPE | MOCVD | MBE | MOCVD | HVPE | MBE |

Il convient de noter que la couche de transition 13 fabriquée selon la présente invention n'est pas restreinte à deux couches. Au contraire, elle peut comprendre de multiples couches de premières couches semi-conductrices de III-nitrule 26 et de 20 deuxièmes couches semi-conductrices de III-nitrule 28 formées alternativement en utilisant des techniques de croissance distinctes et différentes.

En faisant maintenant référence à la figure 4, dans un procédé selon un autre mode de réalisation de la présente invention, la couche de transition 13 comprend une première couche de III-nitrule 26 fait croître en utilisant une première technique

de croissance, une deuxième couche de III-nitrite 28 formée sur la première couche de III-nitrite 26 en utilisant une deuxième technique de croissance distincte et différente de la première technique de croissance et une troisième couche de III-nitrite 30 formée sur la deuxième couche de III-nitrite 28 en utilisant une technique 5 de croissance distincte et différente de la première technique de croissance et de la deuxième technique de croissance. Une technique de croissance distincte qui peut être utilisée afin de former une couche de transition 13 selon la présente invention peut être, par exemple, l'MBE (Epitaxie par jets moléculaires ; en anglais : Molecular Beam Epitaxy), l'HVPE (Epitaxie en Phase Vapeur aux Hydrures ; en 10 anglais : Hybride Vapour Phase Epitaxy) et le MOCVD (Dépôt Chimique en Phase Vapeur OrganoMétallique ; en anglais : MetalOrganic Chemical Vapour Deposition). Ces procédés peuvent être alternés selon n'importe quelle séquence souhaitée. Le tableau 2 illustre certains exemples possibles.

Tableau 2

| | Ex. 1 | Ex. 2 | Ex. 3 | Ex. 4 | Ex. 5 | Ex. 6 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Première couche de III-nitrite 26 | MBE | MBE | MOCVD | MOCVD | HVPE | HVPE |
| Deuxième couche de III-nitrite 28 | HVPE | MOCVD | MBE | HVPE | MBE | MOCVD |
| Troisième couche de III-nitrite 30 | MOCVD | HVPE | HVPE | MBE | MOCVD | MBE |

Il convient de noter que la couche de transition 13 n'est pas restreinte à la 15 première couche de III-nitrite 26, à la deuxième couche de III-nitrite 28 et à la couche de III-nitrite 30. En faisant référence à la figure 5, par exemple, la couche de transition 13 peut comprendre une pluralité de premières couches de III-nitrite 26,

une pluralité de deuxièmes couches de III-nitride 28 et une pluralité de troisièmes couches de III-nitride 30 fait croître alternativement.

Il convient de noter que bien que la figure 5 montre une séquence comprenant une première couche de III-nitride 26, une deuxième couche de III-nitride 28, une troisième couche de III-nitride 30, une première couche de III-nitride 26, une deuxième couche de III-nitride 28, une troisième couche de III-nitride 30, une couche de transition selon la présente invention peut être fait croître en utilisant n'importe quelle séquence de croissance. Par exemple, la couche de transition peut être formée de manière à avoir la séquence couche 26, couche 28, couche 30, couche 10 28, couche 26, couche 30, et ainsi de suite.

Il convient de noter que le matériau préféré pour une couche de transition selon la présente invention est le nitride d'Aluminium AlN. Ainsi, chaque couche de III-nitride dans une couche de transition 13 fait croître selon la présente invention peut être constituée de nitride d'Aluminium AlN fait croître selon un procédé 15 distinct et différent.

Il convient également de noter que chaque couche de III-nitride dans une couche de transition 13 peut avoir une composition uniforme ou une composition variante (par exemple, une composition graduée). De plus, chaque couche de III-nitride peut avoir une composition différente. Par exemple, dans une couche de transition 13 la première couche de III-nitride 26 peut avoir une composition uniforme, la deuxième couche de III-nitride 28 peut avoir une composition graduée et la troisième couche de III-nitride 30 peut avoir une composition qui varie selon des marches discrètes plutôt que doucement et graduellement comme cela serait le cas dans une composition graduée.

25 Un dispositif fabriqué selon la présente invention comprendrait une zone active formée sur la couche de transition 13 qui est fait croître selon la présente invention. La zone active peut comprendre une hétérojonction de III-nitride similaire à l'hétérojonction décrite en détail ci-dessus en faisant référence à la figure 1, ou cela peut être tout autre type de dispositif.

30 Bien que la présente invention ait été décrite en rapport avec des modes de réalisation particuliers de celle-ci, de nombreuses autres variations et modifications ainsi que d'autres utilisations deviendront apparentes à l'homme du métier. Par conséquent, il est préférable que la présente invention soit limitée non pas par la

description spécifique donnée dans les présentes mais uniquement par les revendications jointes.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un dispositif à semi-conducteur de puissance, comprenant :
la fourniture d'un substrat conducteur ;
la croissance d'une couche de transition (13) de nitrure d'élément III sur une surface
5 majeure dudit substrat en faisant croître au moins une première couche de nitrure d'élément III (26) en utilisant un premier procédé de croissance et au moins une deuxième couche de nitrure d'élément III (28) sur ladite au moins première couche de nitrure d'élément III (26) en utilisant un deuxième procédé de croissance ; et
la formation d'une zone active de semi-conducteur sur ladite couche de transition
10 (13).
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit substrat est constitué de silicium.
- 15 3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit substrat est constitué de carbure de silicium.
4. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit premier procédé est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE) et ledit deuxième procédé est l'épitaxie en phase vapeur
20 par la méthode aux hydrures (HVPE).
5. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit premier procédé est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE) et ledit deuxième procédé est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD).
- 25 6. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit premier procédé est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) et ledit deuxième procédé est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE).

7. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit premier procédé est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) et ledit deuxième procédé est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD).
- 5 8. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit premier procédé est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD) et ledit deuxième procédé est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE).
- 10 9. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit premier procédé est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD) et ledit deuxième procédé est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE).
- 15 10. Procédé selon la revendication 1, comprenant en outre la croissance d'une troisième couche de nitrure d'élément III (30) sur ladite deuxième couche de nitrure d'élément III (28) en utilisant un troisième procédé de croissance.
- 20 11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel ledit premier procédé de croissance est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE), ledit deuxième procédé de croissance est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) et ledit troisième procédé de croissance est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD).
- 25 12. Procédé selon la revendication 10, dans lequel ledit premier procédé de croissance est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE), ledit deuxième procédé de croissance est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD) et ledit troisième procédé de croissance est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE).
- 30 13. Procédé selon la revendication 10, dans lequel ledit premier procédé de croissance est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE), ledit deuxième procédé de croissance est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE) et ledit troisième procédé de croissance est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD).

14. Procédé selon la revendication 10, dans lequel ledit premier procédé de croissance est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE), ledit deuxième procédé de croissance est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD) et ledit troisième procédé de croissance est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE).
15. Procédé selon la revendication 10, dans lequel ledit premier procédé de croissance est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD), ledit deuxième procédé de croissance est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE) et ledit troisième procédé de croissance est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE).
16. Procédé selon la revendication 10, dans lequel ledit premier procédé de croissance est le dépôt chimique en phase vapeur organométallique (MOCVD), ledit deuxième procédé de croissance est l'épitaxie par jets moléculaires (MBE) et ledit troisième procédé de croissance est l'épitaxie en phase vapeur par la méthode aux hydrures (HVPE).
17. Procédé selon la revendication 10, comprenant une pluralité de premières couches de nitrule d'élément III, une pluralité de deuxièmes couches de nitrule d'élément III et une pluralité de troisièmes couches de nitrule d'élément III, dans lequel lesdites premières, lesdites deuxièmes et lesdites troisièmes couches de nitrule d'élément III sont alternativement disposées.
18. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ladite couche de transition (13) est constituée de nitrule d'aluminium AlN.
19. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la composition de ladite couche de transition (13) est uniforme à travers l'épaisseur de celle-ci.
20. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la composition de ladite couche de transition (13) est graduée à travers l'épaisseur de celle-ci.

21. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la composition de ladite première couche de nitrure d'élément III (26) est différente de celle de ladite deuxième couche de nitrure d'élément III (28).

5

22. Procédé selon la revendication 10, dans lequel la composition de ladite première couche de nitrure d'élément III (26) est différente de celle de ladite deuxième couche de nitrure d'élément III (28) et de celle de ladite troisième couche de nitrure d'élément III (30) et la composition de ladite deuxième couche de nitrure d'élément III (28) est différente de celle de ladite troisième couche de nitrure d'élément III (30).

10

1/2

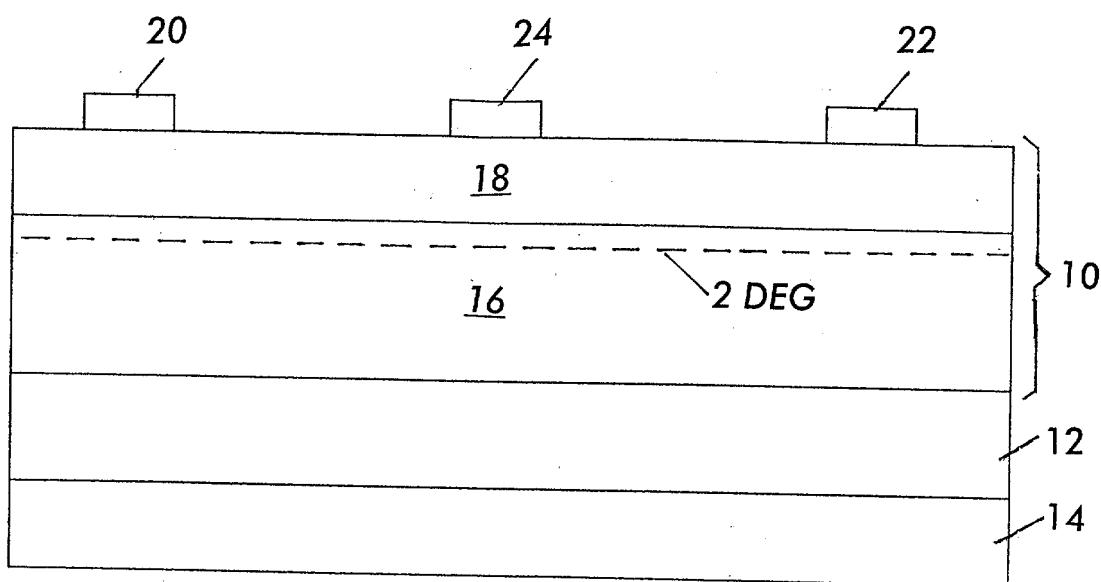


FIG. 1

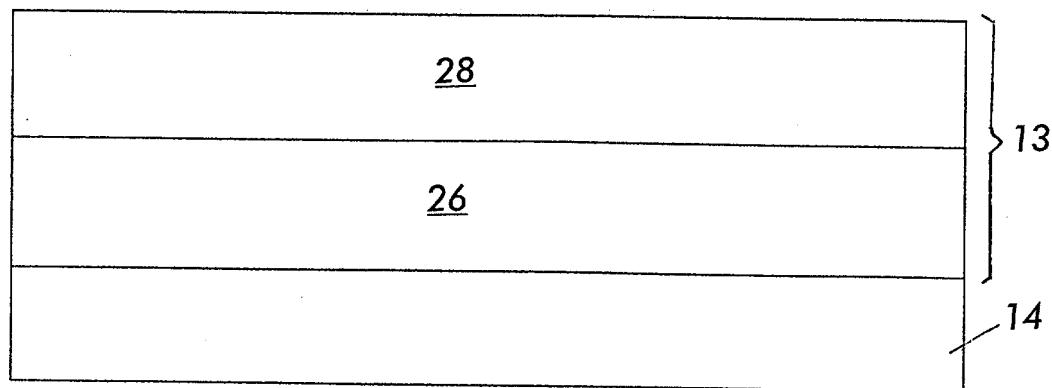


FIG. 2

2/2

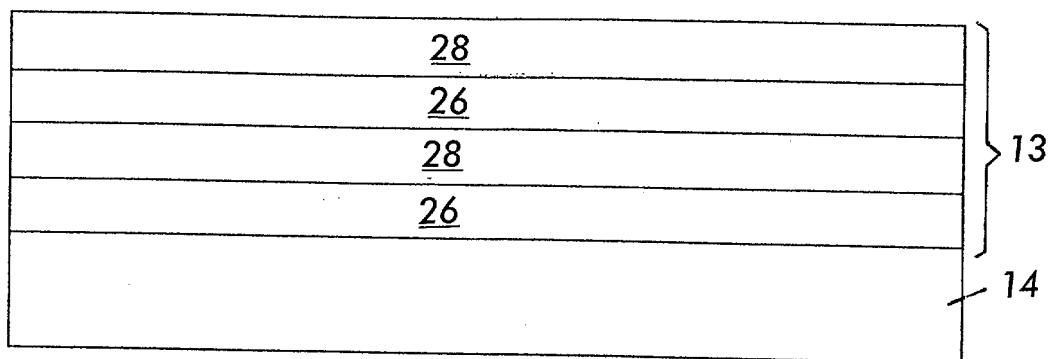


FIG. 3

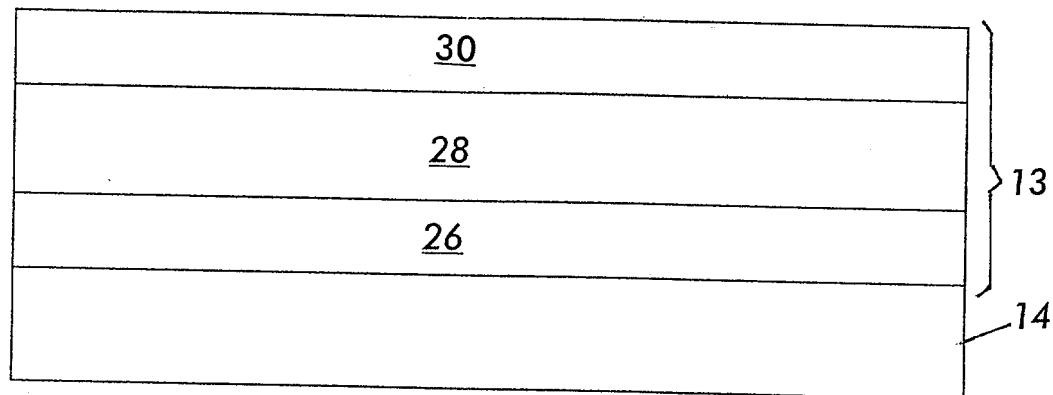


FIG. 4

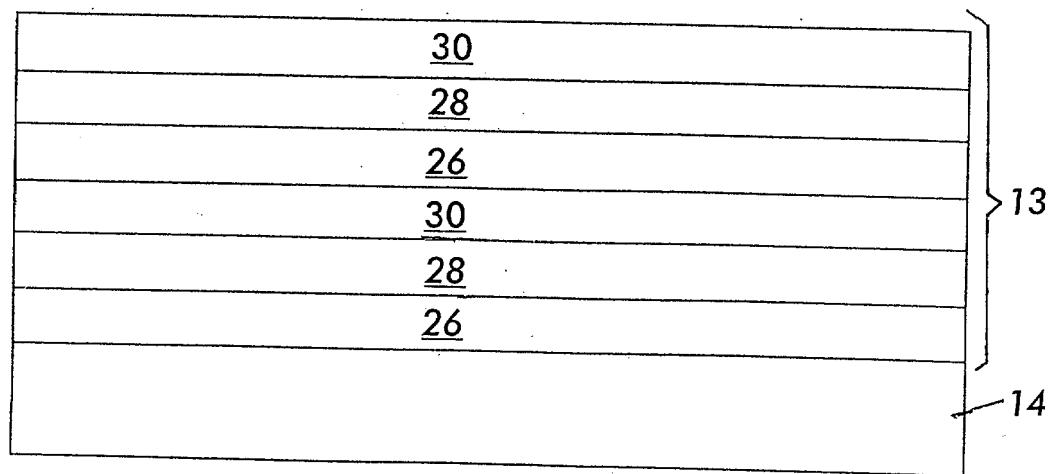


FIG. 5