

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 79 20778

(54) Procédé de réalisation de contacts ohmiques sur une couche active de silicium amorphe hydrogéné.

(51) Classification internationale (Int. Cl. ³). H 01 L 21/28, 29/48, 29/56.

(22) Date de dépôt..... 16 août 1979.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 8 du 20-2-1981.

(71) Déposant : AGENCE NATIONALE DE VALORISATION DE LA RECHERCHE (ANVAR), résidant
en France.

(72) Invention de : Christian Bianchin, Jean-Claude Bruyère et Alain Deneuville.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Brevatome,
25, rue de Ponthieu, 75008 Paris.

La présente invention a pour objet un procédé de réalisation d'un contact ohmique sur une couche de silicium amorphe hydrogéné.

De façon plus précise, la présente invention concerne un procédé de réalisation d'un contact ohmique sur une couche de silicium amorphe hydrogéné obtenu par pulvérisation cathodique en atmosphère d'hydrogène et d'argon.

On sait d'une part qu'il est connu de réaliser des diodes Schottky utilisant comme semi-conducteur actif à la jonction semi-conducteur/métal, du silicium amorphe hydrogéné, ces diodes Schottky étant en particulier utilisées comme cellules photovoltaïques bon marché. Pour que l'on obtienne un bon rendement de cette cellule photovoltaïque, il est nécessaire de réaliser un bon contact ohmique, en particulier sur la face arrière du dispositif, car la présence d'une résistance élevée à ce contact peut limiter le courant de court-circuit lorsque la cellule est soumise à une illumination.

Par ailleurs, on sait que le silicium amorphe hydrogéné est utilisé pour la réalisation d'autres composants semi-conducteurs dans lesquels il est également nécessaire de réaliser un contact ohmique entre la couche active en silicium amorphe hydrogéné ($a\text{-Si:H}$) et un dépôt conducteur constituant une électrode de contact du dispositif.

La nécessité d'un bon contact ohmique est due en particulier à la raison suivante :

L'arrivée du courant se faisant toujours par un conducteur métallique, il faut passer d'une structure métallique avec niveau de Fermi (E_F) dans une bande de conduction partiellement remplie à une structure semi-conducteur avec un niveau de Fermi dans la bande interdite à quelques dixièmes d'électron volts en dessous de la bande de conduction (vide). Pour avoir une caractéristique courant-tension linéaire, il faut n'avoir pratiquement aucune énergie d'activation pour le passage des électrons

du métal vers le semi-conducteur et vice versa. Cela suppose la présence d'un quasi continuum de niveau "relais" N_r entre le niveau de Fermi et le bas de la bande de conduction du semi-conducteur pour éviter une énergie d'activation au passage métal-conducteur et aucune zone de charge d'espace côté semi-conducteur (S_C) pour le passage semi-conducteur/métal (M) (voir Fig. 1).

Or, on sait que la réalisation d'un bon contact ohmique sur du silicium amorphe hydrogéné reste un problème difficile, même avec une géométrie coplanaire des contacts. Elle devient cruciale lors de contacts à structure "sandwich" et primordiale dans la réalisation de cellules photovoltaïques utilisant le couple silicium amorphe hydrogéné-platine, cellules qui sont de plus en plus performantes. Les solutions utilisées actuellement sont les suivantes :

- réalisation d'une couche en silicium amorphe hydrogéné dopé n^+ dégénéré ; ou
- réalisation d'une multi-couche chrome-antimoine.

Il s'agit en fait de la transposition des solutions appliquées aux dispositifs semi-conducteurs cristallins.

On rappelle que les solutions utilisées couramment avec des composants actifs en semi-conducteurs cristallins, par exemple du silicium, sont

- réalisation à l'aide d'un contact dégénéré n^+ ; on crée un continuum de niveau n^+ dans la même structure de bande entre $Si-n^+$ constituant l'équivalent d'un métal et le silicium avec, éventuellement, une diffusion partielle du dopant sur une profondeur limitée dans le silicium ;
- on utilise également un contact or-antimoine et on crée en même temps sur une profondeur limitée dans le silicium un dopage par diffusion d'antimoine et des centres de recombinaison par diffusion d'or. Il faut toutefois mentionner que l'obtention de bons contacts ohmiques sur du silicium cristallin très résistif et presque intrinsèque reste difficile.

Dans le cas des semi-conducteurs amorphes et en particulier du silicium amorphe-hydrogéné, des problèmes supplémentaires apparaissent, en particulier au niveau de

la diffusion du dopant dans la couche silicium amorphe hydrogéné rendant son rôle ambigu et se traduisant par un caractère non reproductible des contacts ohmiques.

On peut dire que le principe de l'obtention d'un bon contact ohmique n'est pas encore complètement clair. Sa réalisation pose fréquemment des problèmes pratiques, même pour les semi-conducteurs cristallins bien connus, tels que GaAs, CdS, etc.... . Ces problèmes de contact ohmique ne sont bien surmontés que par des "recettes" éprouvées et pour des matériaux largement utilisés industriellement, comme le germanium et le silicium.

La présente invention a précisément pour objet un procédé de réalisation de contact ohmique sur une couche active en silicium amorphe hydrogéné qui permet d'obtenir effectivement un bon contact ohmique, même si le silicium est très résistif.

Le procédé objet de l'invention pour réaliser des contacts ohmiques sur une couche active de silicium amorphe hydrogéné se caractérise en ce qu'on crée entre ladite couche active et la couche conductrice constituant le contact une zone appauvrie en hydrogène.

Selon un premier mode de mise en oeuvre, la zone appauvrie en hydrogène est obtenue en déposant entre la couche conductrice et la couche active en silicium amorphe hydrogéné une couche en silicium amorphe pur (a-Si).

Selon un deuxième mode de mise en oeuvre, la zone appauvrie en hydrogène est obtenue en réalisant ladite couche conductrice avec un métal apte à pomper de l'hydrogène dans la couche de silicium amorphe hydrogéné, ce qui donne ainsi une zone appauvrie en hydrogène dans le silicium amorphe hydrogéné. Dans ce cas, le métal est de préférence du palladium.

Bien entendu, pour réaliser les deux contacts ohmiques dans le cas d'un dispositif sandwich, on peut utiliser soit le même mode de mise en oeuvre du procédé, soit les deux modes de mise en oeuvre du procédé selon la nature des corps constituant les éléments de contact.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit de plusieurs modes de mise en oeuvre du procédé objet de l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs. La description se réfère aux figures annexées sur lesquelles, on a représenté :

- sur la figure 1 déjà décrite un schéma illustrant les niveaux d'énergie nécessaires pour obtenir un bon contact ohmique ;

- sur la figure 2, des courbes illustrant la caractéristique tension/intensité d'une structure sandwich obtenue d'une part par la mise en oeuvre du procédé objet de l'invention et d'autre part en utilisant un seul contact ohmique.

- sur les figures 3a et 3b, des diagrammes donnant les niveaux d'énergie obtenus théoriquement par la mise en oeuvre du procédé et pratiquement par la mise en oeuvre de ce même procédé ; et

- sur la figure 4, une vue en coupe verticale simplifiée d'un dispositif de diodes de Schottky mettant en oeuvre le procédé objet de l'invention.

Afin d'illustrer le procédé objet de l'invention, on va décrire plus en détail un mode de mise en oeuvre de ce procédé pour obtenir deux contacts ohmiques sur une couche active de silicium amorphe hydrogéné, ces deux contacts étant obtenus respectivement par l'un et par l'autre des modes de mise en oeuvre du procédé.

On part d'un substrat 2 en silicium cristallin de type N ayant une résistivité de l'ordre de quelques ohms.cm. On dépose successivement par un procédé connu une couche de silicium amorphe pur 4 par pulvérisation sous argon pur et une couche de silicium amorphe hydrogéné 6 également par pulvérisation. Ce procédé de dépôt de silicium amorphe hydrogéné par pulvérisation est bien connu de l'homme de l'art et on rappellera simplement qu'il se fait sous vide dans une atmosphère d'argon et d'hydrogène. Il est important de noter que selon le mode préféré de mise en oeuvre, on ne casse pas le vide ni le plasma entre les deux opérations de dépôt des couches 4 et 6. Ensuite, on évapore la couche métallique conductrice 8 en palladium dans un groupe à vide

La figure 2 représente la caractéristique Log-Log intensité I en fonction de la tension V obtenue entre le substrat en silicium cristallin et le palladium. Cette courbe est référencée I sur la figure 2. A titre de
5 comparaison, on a représenté sur cette même figure, par la courbe II, la caractéristique intensité/tension pour un même composant dans lequel on n'a pas réalisé de dépôt de silicium amorphe pur. On voit que, selon le procédé, on obtient effectivement un contact ohmique, alors
10 que selon l'art antérieur, la forme de la courbe 2 montre nettement que celui-ci n'était point obtenu. En fait, la courbe I correspond à deux contacts ohmiques, l'un à l'interface entre le silicium amorphe 4 et le silicium amorphe hydrogéné 6 et l'autre à l'interface entre le
15 silicium amorphe hydrogéné 6 et la couche de palladium 8.

Les essais faits sur le dispositif représenté sur la figure 4 montrent qu'on obtient effectivement un appauvrissement en hydrogène de la couche active 6 en silicium amorphe hydrogéné au voisinage des deux contacts
20 en matériau conducteur 2 et 8.

La mesure de l'énergie d'activation de la conductivité en structure sandwich donne un niveau de Fermi situé à 0.75 en dessous de la bande conduction. La hauteur de la barrière de potentiel à l'interface
25 a-Si:H/Pd étant de 0.95 eV, la courbure de bande à cet interface est très faible (de l'ordre de 0.2 eV). Parallèlement, les mesures de concentration d'hydrogène par réaction nucléaire montrent que le palladium a "pompe" de l'hydrogène au a-Si:H au voisinage de l'interface a-Si:H/Pd, y créant ainsi un grand nombre de centres de recombinaison
30 (cette zone est référencée 10 sur la figure 4). L'ensemble faible courbure de bande, grande densité d'états localisés donne un contact ohmique sur la face supérieure. Pour la face arrière, le diagramme de bande à l'interface
35 a-Si/a-Si:H devrait être celui qui est représenté sur la figure 3a. En fait, les mesures de concentration hydrogène

par réaction nucléaire au bore montrent qu'il y a eu diffusion d'hydrogène de a-Si:H vers a-Si jusqu'à des concentrations de 2 à 3% et des profondeurs de 200 Å, créant ainsi une transition graduelle a-Si ... a-Si:H qui conduit au diagramme de bande de la figure 3b. On a symbolisé par 12 sur la figure 4 cette zone de transition.

On peut indiquer que, de préférence, la couche 4 en silicium amorphe pur a une épaisseur de l'ordre de 500 à 1.000 Å. On peut indiquer également que le dépôt de palladium a une épaisseur de l'ordre de 100 à 200 Å. Cet exemple de mise en oeuvre montre donc qu'effectivement, on obtient un contact à caractéristique ohmique en mettant en oeuvre l'un et l'autre des modes de réalisation du procédé objet de l'invention et que dans les deux cas, il s'agit bien de créer au voisinage du contact métallique une zone en silicium amorphe appauvrie en hydrogène.

Bien entendu, le procédé pourrait être appliqué à la réalisation d'autres types de composants semi-conducteurs. Le silicium amorphe hydrogéné qui, dans le cas de l'exemple précédent, est intrinsèque et très résistif de l'ordre de 10^{10} ohms.cm pourrait être remplacé par du silicium amorphe hydrogéné dopé. De même, le substrat 2 qui constitue un des deux contacts électriques pourrait être par exemple de l'aluminium ou un autre conducteur. De même, on pourrait remplacer le palladium par un autre métal apte à pomper l'hydrogène dans le silicium amorphe hydrogéné.

Dans le cas de l'appauvrissement par dépôt d'une couche de silicium amorphe pur, on peut donner l'explication suivante pour l'obtention d'un contact ohmique de bonne qualité.

Le silicium amorphe pur présente une continuum et une densité importante d'états localisés dans sa bande interdite avec un niveau de Fermi situé au voisinage du milieu d'une bande interdite large de 1.6 eV. Le silicium amorphe hydrogéné présente une densité d'états localisés 10^3 à 10^4 fois plus faible avec un niveau de Fermi situé au voisinage du milieu d'une bande interdite variant de 1.5 à 2 eV suivant la vitesse de dépôt.

Il résulte de la description précédente que grâce au procédé objet de l'invention, on peut obtenir très facilement de très bons contacts ohmiques, même sur une structure sandwich sur silicium amorphe hydrogéné

5 déposé par pulvérisation cathodique en créant sur la face avant et sur la face arrière du matériau actif, des zones appauvries en hydrogène qui introduisent progressivement des états localisés dans la bande interdite. Ce résultat

10 peut être obtenu par les combinaisons les mieux adaptées des modes de mise en oeuvre du procédé.

REVENDICATIONS

1. Procédé de réalisation de contacts ohmiques sur une couche active de silicium amorphe hydrogéné, caractérisé en ce qu'on crée entre ladite couche active et la couche conductrice constituant le contact une zone appauvrie en hydrogène.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite zone appauvrie en hydrogène est obtenue en déposant entre la couche conductrice et la couche active en silicium amorphe hydrogéné, une couche en silicium amorphe pur.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite zone appauvrie en hydrogène est obtenue en réalisant ladite couche conductrice avec un métal apte à pomper de l'hydrogène dans la couche de silicium amorphe hydrogéné, ce qui donne ainsi une zone appauvrie en hydrogène dans le silicium amorphe hydrogéné.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ledit métal est du palladium.

5. Procédé de réalisation d'un composant semi-conducteur comportant une couche active en silicium amorphe hydrogéné et un contact ohmique avant et un contact ohmique arrière, caractérisé en ce qu'on part d'un substrat en silicium cristallin dopé, en ce qu'on dépose sur ledit substrat une couche de silicium amorphe pur par pulvérisation sous argon, en ce qu'on dépose ensuite également par pulvérisation sous argon et hydrogène une couche de silicium amorphe hydrogéné, sans casser le vide ni le plasma correspondant au premier dépôt, et en ce qu'on évapore par dessus dans un groupe à vide une couche de palladium.

FIG. 1

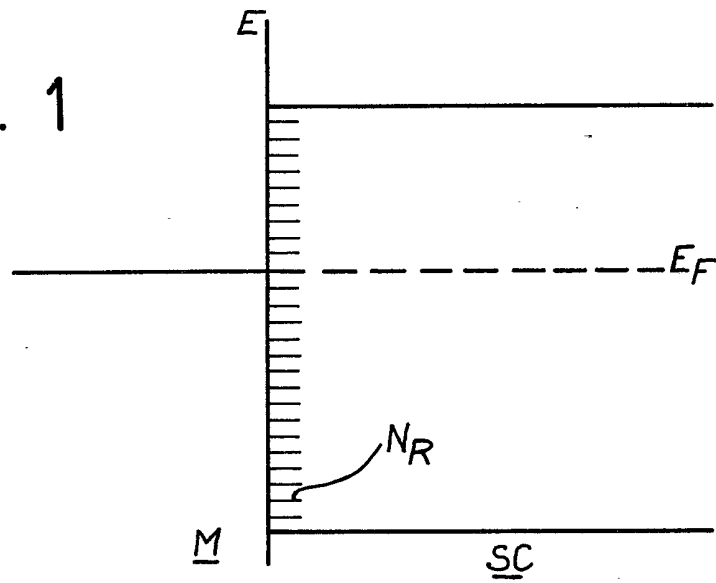


FIG. 4

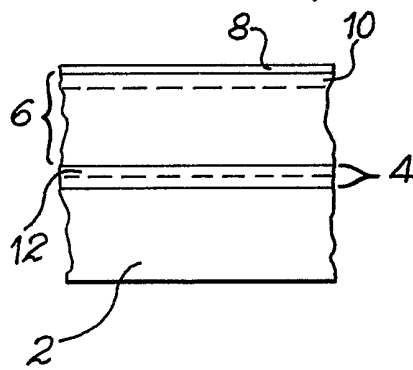


FIG. 2

