

[Tous les numéros](#) ▶ [Volume 11 \(2020\)](#) ▶ [EPJ Photovolt., 11 \(2020\) 6](#) ▶ Full HTML

Accès libre

Problème	EPJ Photovolt. Volume 11, 2020
Numéro de l'article	6
Nombre de pages	7
Section	Films minces semi-conducteurs
EST CE QUE JE	https://doi.org/10.1051/epjpv/2020003
Publié en ligne	29 mai 2020

EPJ Photovolt. 11, 6 (2020)

<https://doi.org/10.1051/epjpv/2020003>

Article régulier

Couches de nitrure de silicium amorphe optimisées pour la passivation frontale des cellules solaires c-Si PERC

Asmaa Mohamed Okasha Mohamed Okasha^{1, 2 *}, Bishal Kafle¹, Benjamin Torda¹, Christopher Teßmann¹ et Marc Hofmann¹

¹ Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg, Allemagne

² Département de physique, Faculté des sciences, Université de Menoufia, Menoufia, Égypte

* e-mail: asmaa.mohamed.okasha.mohamed.okasha@ise.fraunhofer.de

Reçu: 23 août 2019 Reçu sous forme définitive: 6 mars 2020 Accepté: 3 avril 2020 Publié en ligne: 29 mai 2020

Abstrait

Le dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD) SiN_x est le choix typique comme revêtement antireflet (ARC) pour les cellules solaires à base de silicium. Cependant, il existe encore une marge d'amélioration de la qualité de passivation du SiN_x tout en conservant une bonne optique pour la face avant d'une cellule solaire. Dans cet article, nous avons étudié en détail les propriétés optiques et électriques des couches de SiN_x en faisant varier la pression de la chambre et la température du substrat dans un outil PECVD en ligne utilisé industriellement. Les propriétés optiques et électriques du SiN_x les couches se sont révélées significativement influencées par la pression de la chambre et la température du substrat. Un compromis entre une excellente optique et une faible recombinaison de surface est observé avec une augmentation de la pression de la chambre, alors qu'une température plus élevée du substrat conduit généralement à une meilleure qualité de passivation. La densité de liaison Si-H, qui devrait influencer directement la qualité de la passivation de surface, a augmenté à haute pression et à basse température du substrat. Sur la base de nos recherches, un bon compromis entre l'optique et la passivation de surface est trouvé pour préparer des couches de SiN_x optimisées et les appliquer comme couches de passivation pour la face avant des cellules solaires à émetteur passivé et à cellule arrière (PERC). Les meilleures cellules solaires affichent une densité de courant de court-circuit élevée (j_{SC}) de $39,9 \text{ mA} / \text{cm}^2$ correspondant aux couches de SiN_x à faible absorption parasite, bonne propriété antireflet, et excellente passivation de la

Table des matières

Article

Abstrait

HTML complet

PDF (1,474 Mo)

ePUB (2,464 Mo)

Les références

Métrie

[Afficher les statistiques de l'article](#)

Prestations de service

Mêmes auteurs

[- Google Scholar](#)[- Base de données EDP Sciences](#)[Recommander cet article](#)[Télécharger la citation](#)

Articles Liés

[Traitement au plasma sec pour la production industrielle de cellules solaires en silicium cristallin](#)

Eur. Phys. J. Appl. Phys. 52 et 11101 (2010)

[Amélioration de la durée de vie des porteurs minoritaires dans le silicium multicristallin](#)

Eur. Phys. J. Appl. Phys. (2012) 57: 21302

[Balayage de la photoluminescence à température ambiante en couches \$\text{SiN}_x\$: H](#)

Eur. Phys. J. Appl. Phys. 27, 289-291 (2004)

Plus

Bookmarking

 [Services aux lecteurs](#) [Alerte email](#)

Haut
Abstrait

1. Introduction
2. méthodes
3. Résultats
4. Conclusion

surface et du silicium massif. Les résultats courant-tension (IV) sont en accord avec les mesures d'efficacité quantique interne (IQE) des cellules solaires.

Déclaration de contribution de l'auteur
Remerciements
Les références
Liste des figures

Mots clés: cellules PERC / PECVD / passivation

© A. Mohamed Okasha Mohamed Okasha et al., Publié par EDP Sciences, 2020



Il s'agit d'un article en libre accès distribué sous les termes de la licence d'attribution Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), qui permet une utilisation, une distribution et une reproduction sans restriction sur tout support, à condition que l'œuvre originale soit correctement citée.

1. Introduction

Le nitrure de silicium hydrogéné amorphe ($a\text{-SiN}_x\text{:H}$) préparé par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD) est le type le plus courant de revêtement antireflet (ARC) utilisé dans les cellules solaires à base de silicium cristallin. Les couches de PECVD SiN_x ont un indice de réfraction optimal et un faible coefficient d'absorption parasite et augmentent ainsi la texture de surface du substrat de silicium, augmentant la génération de photocourant de la cellule solaire. De plus, le PECVD conduit à une grande quantité d'espèces hydrogène incorporées dans la couche de SiN_x , qui peuvent passiver les défauts de masse et de surface lors du dépôt ou en diffusant à l'interface après traitement thermique [1, 2]. Bien que l' $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ déposé par PECVD soit connu pour présenter des charges fixes positives [3, 4], la passivation chimique des défauts par les espèces H est considérée comme le principal moteur d'une excellente qualité de passivation de surface, quel que soit le dopage du substrat. Par exemple, Richter et al. atteignent une vitesse de recombinaison de surface (SRV) de 64 cm.s^{-1} pour $70 \text{ nm } a\text{-SiN}_x\text{:H}$ sur $1 \text{ } \Omega.\text{cm}$ de type n Si en utilisant PECVD avec excitation plasma induite par micro-ondes (MW) [5]. Mäckel et coll. ont utilisé un mélange de $\text{SiH}_4 / \text{N}_2 / \text{H}_2$ pour déposer des couches de $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ présentant de bonnes performances de passivation. Après avoir formé un recuit gazeux et une cuisson thermique rapide, Mäckel et al. a attribué le changement de durée de vie au changement de densité de liaison Si-H [6]. Ils ont atteint un SRV de $4\text{--}6 \text{ cm.s}^{-1}$, ce qui correspond à une durée de vie effective des porteurs de charge minoritaires (τ_{eff}) de $1200 \text{ } \mu\text{s}$ sur $1,25 \text{ } \Omega.\text{cm}$ de Si de type p .

Wan et coll. a étudié l'effet des paramètres de dépôt sur les propriétés de couche de $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ déposé dans un réacteur PECVD combiné MW / radiofréquence [7]. Soppe et coll. ont déposé des couches avec des indices de réfraction de 2,2 et ont obtenu une qualité de passivation raisonnable (SRV $<30 \text{ cm.s}^{-1}$) sur des plaquettes FZ de type p après recuit thermique [8]. Nagel et coll. rapporté sur des couches $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ avec des indices de réfraction de 2,1 qui ont servi de bonnes couches de passivation pour les cellules solaires en silicium n^+ [9].

Dans cette étude, nous rapportons les effets de la variation des paramètres de dépôt PECVD sur les propriétés de la couche $a\text{-SiN}_x\text{:H}$ dans le but d'atteindre une transmission lumineuse élevée et une bonne passivation pour la face avant de l'architecture de l'émetteur passivé et de la cellule arrière (PERC). Nous montrons une corrélation entre les paramètres de dépôt, la propriété antireflet, les densités de liaison et la qualité de passivation des couches. L'ellipsométrie spectroscopique et la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) sont principalement utilisées pour mieux comprendre l'influence de la variation des paramètres sur l'optique et les propriétés structurales de la couche déposée, respectivement. Enfin, les cellules solaires PERC sont fabriquées avec PECVD SiN_x déposé en utilisant des combinaisons de paramètres sélectionnées. Les cellules solaires sont caractérisées à l'aide de mesures de courant-tension (IV) et d'efficacité quantique (QE) et les résultats sont discutés pour corrélés les propriétés électriques des cellules solaires avec les propriétés optiques et structurales des couches de SiN_x déposées.

2 méthodes

2.1 Préparation de $a\text{-SiN}_x\text{:H}$

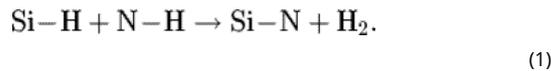
Des substrats de silicium monocristallin à zone flottante (FZ) de type p , gravés brillants, avec une résistivité spécifique de $10 \text{ } \Omega.\text{cm}$ et une épaisseur de $250 \text{ } \mu\text{m}$ ont été utilisés pour l'ellipsométrie et les mesures FTIR.

Les plaquettes FZ ont subi un nettoyage chimique humide avec HNO_3 chaud et un trempage ultérieur dans HF dilué. Le dépôt des couches $\text{a-SiN}_x\text{:H}$ a été réalisé à l'aide d'un réacteur en ligne Meyer Burger MAiA PECVD utilisant une source de plasma micro-ondes linéaire (MW) entraînée à 2,45 GHz. Un flux de silane (SiH_4) de 200 sccm et un ammoniac (NH_3) de 600 sccm ont été utilisés, et ce rapport de gaz a été maintenu constant tout au long de l'expérience. Le silane a été alimenté dans la chambre à plasma à partir d'entrées sur les côtés proches des plaquettes, tandis que l'ammoniac a été introduit dans la chambre via des entrées de gaz loin des plaquettes et se dissocie dans la région des micro-ondes comme on peut le voir sur le schéma de la [figure 1](#).

Le dépôt a eu lieu avec les échantillons transportés en continu sous la source de plasma linéaire. Les échantillons ont été déposés à des températures de substrat de 300 °C et 400 °C et une variation de la pression de la chambre dans la plage de 0,10 à 0,30 mbar a été réalisée. Les échantillons déposés ont ensuite reçu un processus de cuisson rapide à une température de crête fixée de 820 °C pendant environ 3 secondes. Les spectres d'absorption infrarouge ont été mesurés à l'aide d'un spectromètre VERTEX 80 v (Bruker) de 400 à 4000 cm^{-1} . Des mesures d'ellipsométrie ont été effectuées à trois angles incidents à l'aide de l'ellipsomètre spectroscopique M-2000 (JA Woollam Co).

Cet outil mesure les fonctions complexes dépendant du temps associées à Psi et Delta, et les angles, en tant que tels, (ou plutôt leurs fonctions trigonométriques - $\cos 2\Psi$ et $\cos \Delta$) sont obtenus à partir de celui-ci dans une procédure de calcul assez complexe utilisant l'analyse de Fourier [10]. Les mesures IV ont été effectuées dans des conditions de test standard en utilisant un simulateur de cellule solaire avec une cellule de référence qui est étalonnée à Fraunhofer ISE Callab. L'efficacité quantique des cellules solaires a été mesurée à l'aide d'un outil LOANA (PV Tools).

La formation des couches $\text{a-SiN}_x\text{:H}$ peut s'expliquer par la dissociation de l'ammoniac et du silane [7]. L'incorporation des radicaux SiH_x et NH_x contrôle la quantité résultante de liaisons Si-H et NH, qui dépendent de la température du substrat. À une température élevée, une densification du film se produit en raison de la réticulation, dans laquelle Si-H et N-H se cassent et se forme Si-N [7]:



Ce mécanisme explique la diminution des liaisons hydrogène, Si-H et NH avec l'augmentation de la température du substrat. La rupture de ces deux liaisons conduirait à des liaisons pendantes et par la suite à la formation accrue de liaisons Si-N, résultant en des couches plus denses. Pour des concentrations élevées de radicaux NH_x dans la chambre, la rupture des liaisons Si-H est le facteur limitant pour la formation de liaisons Si-N.

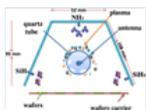


Fig. 1
Diagramme schématique en coupe de l'outil PECVD.

2.2 Traitement des cellules solaires

Des précurseurs CZ de type p de grande surface ($156 \times 156 \text{ mm}^2$) $2,6 \Omega \cdot \text{cm}$ à texture alcaline, un émetteur homogène et une passivation arrière ont été fournis à Fraunhofer ISE par Solar World Innovations GmbH. Les groupes d'essai ont été passivés sur la face avant par des couches de $\text{a-SiN}_x\text{:H}$ déposées en utilisant différents paramètres du processus de dépôt. Tous les échantillons ont ensuite été traités ensemble pour créer des architectures industrielles de type PERC puis caractérisés.

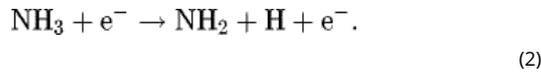
3. Résultats

3.1 Analyse ellipsométrique

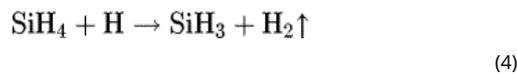
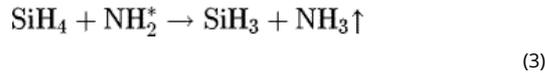
Le programme WVASE (JA Woollam Co.) a été utilisé pour analyser les résultats des mesures de l'ellipsomètre et pour déterminer les constantes optiques (n et k). Nous avons utilisé un modèle Tauc Lorentz [11] pour ajuster les résultats car il est applicable pour les matériaux amorphes à faible absorption dans la région visible et / ou UV du spectre. Les constantes optiques pour ces couches, l'indice de réfraction (n à 632 nm) et le coefficient d'extinction (k à 300 nm) sont représentés sur les [figures 2](#) et [3](#), respectivement.

Aux basses pressions de la chambre, l'expansion du plasma est susceptible de conduire à l'activation des deux espèces SiH_4 et NH_3 ; toutefois, un taux de dissociation plus élevé du NH_3 dans le plasma devrait se

produire. Par conséquent, dans de telles conditions, NH_3 est susceptible d'avoir la plus grande contribution à la formation de la couche, ce qui conduit à la formation de SiN_x couches de densité inférieure et supérieure incorporation d'azote. L'augmentation de la pression de la chambre conduit au confinement du plasma, ce qui diminue par conséquent la longueur de libre parcours moyen des espèces dans le plasma et la probabilité correspondante d'une fraction inférieure de molécules précurseurs dissociées. Dans un tel scénario, une fraction de NH_3 les molécules devraient atteindre le substrat sans dissociation. Pendant ce temps, bien que SiH_4 soit également susceptible d'atteindre le substrat sans dissociations, la réactivité élevée des molécules de SiH_4 devrait former un SiN_x riche en Si. La dissociation du NH_3 près du tube de quartz a été précédemment expliquée par Soppe et al. comme dans l'équation (2) [8]



Les réactions les plus courantes à la pression de chambre plus élevée sont [8]:



où le signe \uparrow fait référence à la formation de molécules de gaz. Par conséquent, des couches de SiN_x : H riches en Si sont formées à une pression de chambre élevée. Ces couches ont une absorption parasite plus élevée de la lumière incidente et doivent donc être évitées pour leur application en tant que couches antireflet optimales dans les cellules solaires.

À basse pression de chambre, la dissociation de SiH_4 se produit plus facilement. La dissociation de SiH_4 peut être expliquée comme dans les équations (5) et (6) [8]:

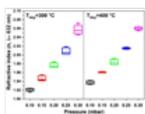
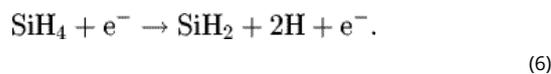
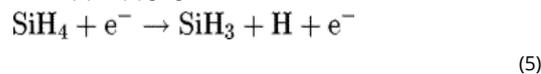


Fig. 2
Indice de réfraction des couches de a-Si_xN_{4-x}H déposées à différentes pressions et températures.

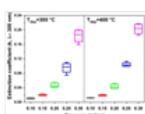


Fig. 3
Coefficient d'extinction des couches a-Si_xN_{4-x}H déposées à différentes pressions et températures.

3.2 Taux de dépôt

À l'aide de l'ellipsométrie, nous avons mesuré l'épaisseur des couches pour calculer le taux de dépôt de diverses combinaisons de paramètres de processus. La figure 4 montre la dépendance de la vitesse de dépôt de a-Si_xN_{4-x}H sur la pression et la température.

Au-dessus d'une pression de chambre de 0,15 mbar, la vitesse de dépôt diminue avec l'augmentation de la pression. Ce comportement, observé à toutes les températures du substrat, est potentiellement dû au confinement du plasma. A une basse pression de 0,10 mbar, un comportement différent a été observé, comme le montre la vitesse de dépôt inférieure par rapport à la vitesse de dépôt à 0,15 mbar. Ceci est probablement dû à une plus grande concentration d'espèces actives qui pourraient se former en raison de l'expansion du plasma et de l'augmentation résultante des collisions entre les espèces plasmatiques.

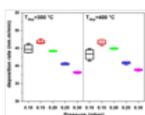


Fig. 4
Vitesse de dépôt en fonction de la pression : de la chambre et de la température du substrat. Pour des pressions plus élevées, une diminution de la vitesse de dépôt se produit à toutes les températures.

3.3 Vitesse de gravure

Il a été précédemment démontré que la gravure de $a\text{-SiN}_x : \text{H}$ dans de l'acide fluorhydrique (HF) à 1% est corrélée à la densité des couches ainsi qu'à la qualité de passivation en vrac [12]. La gravure de $a\text{-SiN}_x : \text{H}$ dans HF est attribuée à la rupture des liaisons Si-N et au remplacement simultané par des liaisons Si-F [13]. Cette méthode est également utilisée dans la présente étude pour comparer la densité des couches formées à différentes pressions de chambre. Les couches déposées ont été gravées pendant différentes durées et l'épaisseur a été mesurée entre les étapes de gravure par ellipsométrie spectroscopique. La figure 5 représente la vitesse de gravure de couches de $a\text{-SiN}_x : \text{H}$ déposées à différentes valeurs de pression de la chambre et de température du substrat. Indépendamment de la température du substrat, les couches préparées à une pression de chambre plus élevée ont montré une résistance plus élevée à la gravure HF. Cela peut être attribué à la formation de couches riches en Si à une pression plus élevée [12] et à une gravure plus rapide des couches riches en Si-N [14]. Les couches riches en Si ont souvent une meilleure qualité de passivation [12]. L'effet de la température est clair dans les couches déposées à basse température 300 ° C, qui ont une teneur en hydrogène plus élevée et devraient présenter une porosité élevée. Les couches à faible densité auront des vitesses de gravure plus élevées, ce qui était le cas pour les couches déposées à 300 ° C par rapport aux couches déposées à 400 ° C.

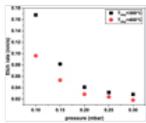


Fig. 5

Vitesse de gravure à 1% HF de couches déposées à différentes pressions et températures.

3.4 Analyse FTIR

Des mesures par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) ont été effectuées afin d'obtenir des détails sur la structure des films $a\text{-SiN}_x : \text{H}$ déposés. Un exemple de spectre d'absorbance IR d'un film $a\text{-SiN}_x : \text{H}$ après soustraction du fond, correction de la ligne de base et normalisation de l'absorbance par l'épaisseur mesurée est illustré à la figure 6.

Ici, les modes de vibrations suivants peuvent être observés: Mode d'étirement Si-N autour de 832 cm^{-1} [15], mode NH wagging-rocking autour de 1180 cm^{-1} [16], mode d'étirement Si-H autour de 640 cm^{-1} [15], mode d'étirement Si-H autour de 2180 cm^{-1} [15] et modes d'étirement N-H autour de 3340 cm^{-1} [15].

En utilisant les données FTIR, les densités de liaison des liaisons NH et Si-H peuvent être calculées en multipliant la surface ajustée en Gauss du pic avec le facteur d'étalonnage k selon [17]:

$$A_{X-Y} = k_{X-Y} \int_{400}^{4000} \alpha(\nu) d\nu \quad (7)$$

où A_{X-Y} est la densité de liaison de la liaison XY , k est le facteur d'étalonnage.

Les valeurs k utilisées ici sont:

$k_{\text{Si-H}} = 5,9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-1}$ et $k_{\text{N-H}} = 8,2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-1}$ [17]. Les densités de liaison pour différents paramètres de dépôt sont tracées pour les cas avant et après le processus de cuisson rapide de la figure 7.

La figure 7 suggère qu'en général, pour toutes les combinaisons de paramètres, les densités de liaison Si-H et NH mesurées après le processus de cuisson rapide sont inférieures à celles mesurées juste après le processus de dépôt. La diminution des densités de liaison Si-H et NH dans la couche après le processus de cuisson peut être attribuée à l'effusion des espèces H de la couche SiN_x raison du budget thermique appliqué par l'étape de cuisson rapide [18]. De plus, la diffusion d'espèces H dans l'interface Si-SiN_x se produirait, ce qui est à la base de la passivation chimique des liaisons pendantes de surface [7]. La densité de liaison Si-H et la teneur en Si augmentent avec l'augmentation de la pression, potentiellement en raison du confinement du plasma. Cette observation est très bien corrélée avec les propriétés optiques mesurées sur les figures 2 et 3, où une augmentation de la pression de la chambre a entraîné des valeurs plus élevées de n et k .

De plus, l'abaissement de la température du substrat a augmenté la densité de liaison Si-H dans les couches a-SiN_x:H. En fait, la température plus élevée du substrat (400 °C) a conduit à la plus faible teneur en hydrogène dans a-SiN_x:H. Une explication potentielle est qu'il y avait une augmentation de l'effusion des espèces hydrogène des couches en raison de la rupture des liaisons Si-H et NH faibles à une température plus élevée [17].

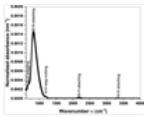


Fig. 6

Absorbance normalisée (absorbance divisée par l'épaisseur) par rapport au nombre d'onde pour les couches telles que déposées.

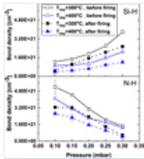


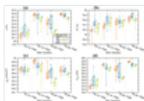
Fig. 7

Les densités de liaison Si-H (haut) et NH (bas) pour a-SiN_x:H avant et après cuisson rapide.

3.5 Résultats des cellules solaires

Un émetteur passivé et des cellules solaires arrière ont été fabriqués pour étudier l'applicabilité des couches développées sur le dispositif cible. Les paramètres mesurés de l'émetteur passivé et des cellules arrière (PERC) après l'application de couches a-SiN_x:H sélectionnées comme revêtements antireflet de la face avant sont illustrés à la figure 8 . On peut observer que les couches a-SiN_x:H déposées en utilisant différentes combinaisons de paramètres présentent des propriétés optiques et de passivation différentes pour la face avant des cellules PERC. Une explication de ces résultats, en discutant de l'influence de la pression de la chambre et de la température du substrat sur les caractéristiques des cellules solaires, est présentée dans les sections suivantes.

Fig. 8



Données IV pour les cellules solaires de type PERC avec différents schémas de passivation frontale. La surface des cellules est de 242,84 cm² et toutes les cellules comportent des pastilles de soudure. Dans la légende de l'axe x , P représente la pression de la chambre et T la température de dépôt.

3.5.1 Dépendance à la pression

Pour les couches d'a-SiN_x:H préparées à des pressions de chambre différentes (0,10, 0,15 et 0,25 mbar) tout en maintenant une température plus élevée (400 °C), les couches déposées à 0,10 mbar ont présenté une qualité de passivation relativement faible. Une passivation pire a entraîné une tension de circuit ouvert plus faible, V_{OC} , potentiellement due à une porosité de couche élevée par rapport aux autres couches déposées à des pressions plus élevées. Les couches déposées à la pression la plus basse ne sont pas applicables de manière optimale comme ARC, car l'indice de réfraction, à $n = 1,94$, est trop faible [9]. Les couches déposées à 0,15 mbar ($n \approx 1,97$) et 0,25 mbar ($n \approx 2,06$) sont mieux adaptées à l'application cible (n les valeurs sont meilleures pour l'optique globale du module) et ont montré une teneur en azote inférieure, selon l'estimation de la densité de liaison NH à partir des spectres FTIR.

La réduction de la densité de courant de court-circuit, j_{SC} , de 0,15 mbar à 0,25 mbar peut être attribuée à une augmentation du coefficient d'extinction k . L'augmentation de j_{SC} entre les deux pressions de procédé 0,10 mbar et 0,15 mbar peut être attribuée à l'augmentation de la qualité de passivation car elle a également conduit à une augmentation simultanée de la valeur V_{OC} (voir Fig. 8d).

On observe que le facteur de remplissage augmente avec une valeur croissante de la pression de processus. Une hypothèse ici est que le processus de cuisson, y compris la composition de pâte d'argent, a été optimisé pour des couches a-SiN_x:H de densité plus élevée comme P0,25-T400 (pression de 0,25 mbar et température de 400 °C).

3.5.2 Dépendance à la température

Pour les couches déposées à différentes températures (300 ° C et 400 ° C) et à la même pression (0,25 mbar), on voit que les couches à température plus élevée ont montré les meilleures performances en termes de j_{SC} . Ceci est conforme aux résultats de vitesse de gravure, qui ont montré que les couches déposées à une température plus élevée présentent moins de porosité et contiennent suffisamment d'hydrogène (à partir de la densité de liaison Si-H), ce qui est largement rapporté comme étant nécessaire pour une bonne passivation.

Pour la meilleure cellule solaire, une tension en circuit ouvert (V_{OC}) de 660 mV et une densité de courant de court-circuit (j_{SC}) de 40 mA / cm² avec un rendement de cellule (η) de 20,9% a été atteinte. Un V_{OC} plus élevé est attribué à une passivation avant améliorée obtenue en mettant en œuvre les meilleures couches PECVD a-SiN_x : H.

De la même manière, nous pouvons expliquer les résultats de l'efficacité quantique interne (IQE) et de la réflexion (R) qui sont présentés dans la figure 9. Une amélioration significative a été trouvée pour l'ensemble de paramètres comprenant la température de dépôt de 400 ° C et une pression de 0,15 mbar.

Ceci est dû à une faible réflexion, une homogénéité élevée et une faible porosité (comme le montre la figure 5 pour la vitesse de gravure) de la couche déposée par rapport à celle déposée à 0,10 mbar. De plus, il y avait une augmentation de la transparence (valeurs k inférieures) que pour les couches déposées à une pression plus élevée. Pour les couches déposées à 0,15 mbar, il y avait également une amélioration de j_{SC} .

Les couches déposées à différentes températures, mais à la même pression, ont montré des performances légèrement meilleures dans l'IQE pour les couches préparées à basse température (300 ° C). Cela peut être dû à l'absorption plus faible (valeurs k) de ces couches que celles préparées à 400 ° C.

L'encombrement et la passivation de la face arrière sont comparables pour toutes les cellules solaires.

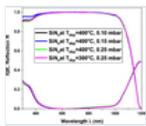


Fig. 9

Efficacité quantique interne (IQE) de l'a-SiN_x : H appliqué pour la passivation frontale des cellules solaires de type PERC.

4. Conclusion

Nitride de silicium hydrogéné amorphe (a-SiN_x : H) les couches préparées par PECVD ont montré une dépendance à la fois de la pression de dépôt et de la température. Une pression plus élevée a donné des couches riches en Si, probablement en raison du confinement du plasma conduisant à une faible porosité. Ces couches avaient également de bonnes propriétés de passivation. Les couches déposées à basse température présentaient une teneur en hydrogène plus élevée, avec une porosité et des vitesses de gravure plus élevées. Le processus de cuisson a abouti à une teneur en hydrogène inférieure en raison de l'effusion d'hydrogène hors des couches et de la diffusion simultanée d'hydrogène à l'interface silicium-nitride de silicium. La diffusion d'hydrogène passiverait les liaisons pendantes et améliorerait les propriétés électriques des couches. Un IQE plus élevé a été trouvé pour les couches déposées à la basse pression de 0,15 mbar, qui présentaient également une faible absorption de la lumière. Ces résultats correspondent aux propriétés optiques des couches et à la tendance observée pour j_{SC} .

Déclaration de contribution de l'auteur

Tous les auteurs ont contribué à la rédaction du manuscrit. Plus précisément, Asmaa Okasha et Bishal Kafle ont préparé les cellules et coordonné la préparation du manuscrit. Benjamin Torda a fait les mesures et l'analyse pour l'ellipsomètre. Christopher Teßmann a fait l'analyse IV. Marc Hofmann a créé le plan de variation des paramètres de processus en collaboration avec Asmaa Okasha et a supervisé les travaux.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le ministère fédéral allemand des affaires économiques et de l'énergie pour le soutien financier de ce travail sous le numéro de contrat 0324171. BAMOM Okasha remercie le gouvernement égyptien pour le financement dans le cadre de sa thèse.

Les références

1. RS Bonilla, B. Hoex, P. Hamer, PR Wilshaw, Phys. Statut Solidi A **214** , 1700293 (2017) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
2. JF. Lelièvre, E. Fourmond, A. Kaminski, O. Palais, D. Ballutaud, M. Lemiti, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **93** , 1281 (2009) [[Google Scholar](#)]
3. AG Aberle, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **65** , 239 (2001) [[Google Scholar](#)]
4. WL Warren, CH Seager, J. Kanicki, MS Crowder, E. Sigari, J. Appl. Phys. **77** , 5730 (1995) [[Google Scholar](#)]
5. A. Richter, SW Glunz, F. Werner, J. Schmidt, A. Cuevas, Phys. Rev. B **86** , 187 (2012) [[Google Scholar](#)]
6. H. Mäckel, R. Lüdemann, J. Appl. Phys. **92** , 2602 (2002) [[Google Scholar](#)]
7. Y. Wan, KR McIntosh, AF Thomson, AIP Advances **3** , 32113 (2013) [[Google Scholar](#)]
8. W. Soppe, H. Rieffe, A. Weeber, Prog. Photovolt. : Rés. Appl. **13** , 551 (2005) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
9. H. Nagel, AG Aberle, R. Hezel, Prog. Photovolt. : Rés. Appl. **7** , 245 (1999) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
10. NJ Podraza, GE Jellison, *Encyclopédie de la spectroscopie et de la spectrométrie* (Elsevier, 2017) [[Google Scholar](#)]
11. DN Wright, ES Marstein, A. Holt, lors de la 22ème Conférence et Exposition Photovoltaïque Européenne , Milan, Italie, 2007 , p. 1651 [[Google Scholar](#)]
12. HFW Dekkers, S. De Wolf, G. Agostinelli, F. Duerinckx, G. Beaucarne, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **90** , 3244 (2006) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
13. D. Martin Knotter, TJJ Denteneer, Appl. Phys. Lett. **148** , F43 (2001) [[Google Scholar](#)]
14. MS Jeon, M. Dhamrin, T. Saitoh, K. Kamisako, in *IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conference , Waikoloa, HI, USA, 2006* , p. 1425 [[Google Scholar](#)]
15. F. Giorgis, CF Pirri, E. Tresso, Thin Solid Films **307** , 298 (1997) [[Google Scholar](#)]
16. E. Bustarret, M. Bensouda, MC Habrard, JC Bruyère, S. Poulin, SC Gujrathi, Phys. Rev. B **38** , 8171 (1988) [[Google Scholar](#)]
17. JJ Mei, H. Chen, WZ Shen, HFW Dekkers, J. Appl. Phys. **100** , 73516 (2006) [[Google Scholar](#)]
18. J. Hong, WMM Kessels, WJ Soppe, AW Weeber, WM Arnoldbik, MCM Van de Sanden, J. Vacuum Sci. Technol. B **21** , 2123 (2003) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]

Citez cet article comme suit: Asmaa Mohamed Okasha Mohamed Okasha, Bishal Kafle, Benjamin Torda, Christopher Teßmann, Marc Hofmann, Optimized amorphous silicon nitride layers for the front side passivation of c-Si PERC solar cells, EPJ Photovoltaics 11 , 6 (2020)

Tous les chiffres

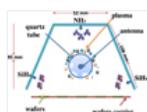


Fig. 1

Diagramme schématique en coupe de l'outil PECVD.

[↑ Dans le texte](#)

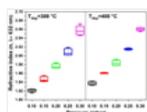


Fig. 2

Indice de réfraction des couches de a-Si_xN_xH déposées à différentes pressions et températures.

[↑ Dans le texte](#)

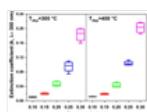
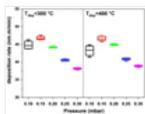


Fig. 3

Coefficient d'extinction des couches a-Si_xN_xH déposées à différentes pressions et températures.

[↑ Dans le texte](#)

Fig. 4



Vitesse de dépôt en fonction de la pression de la chambre et de la température du substrat. Pour des pressions plus élevées, une diminution de la vitesse de dépôt se produit à toutes les températures.

[↑ Dans le texte](#)

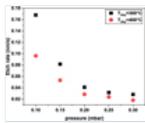


Fig. 5

Vitesse de gravure à 1% HF de couches déposées à différentes pressions et températures.

[↑ Dans le texte](#)

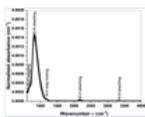


Fig. 6

Absorbance normalisée (absorbance divisée par l'épaisseur) par rapport au nombre d'onde pour les couches telles que déposées.

[↑ Dans le texte](#)

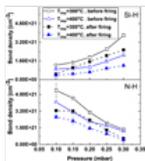


Fig. 7

Les densités de liaison Si-H (haut) et NH (bas) pour a-Si_xN_xH avant et après cuisson rapide.

[↑ Dans le texte](#)

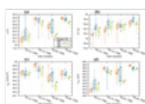


Fig. 8

Données IV pour les cellules solaires de type PERC avec différents schémas de passivation frontale. La surface des cellules est de 242,84 cm² et toutes les cellules comportent des pastilles de soudure. Dans la légende de l'axe x, P représente la pression de la chambre et T la température de dépôt.

[↑ Dans le texte](#)

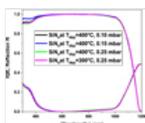


Fig. 9

Efficacité quantique interne (IQE) de l'a-Si_xN_xH appliqué pour la passivation frontale des cellules solaires de type PERC.

[↑ Dans le texte](#)

Nous recommandons

Effets de passivation de l'oxyde d'aluminium déposé en couche atomique

R. Kotipalli, EPJ Photovolt., 2013

Amélioration de la durée de vie des porteurs minoritaires dans le silicium multicristallin

M. Ben Rabhaa et al., EPJ Applied Physics, 2012

PC-Si en couche mince par cristallisation induite par l'aluminium sur substrat métallique

F. Delachat et al., EPJ Photovolt., 2013

Implantation ionique de bore par immersion plasma pour cellules solaires à ruban en silicium

K. Derbouz, EPJ Photovolt., 2013

Passivation de surface en Si en utilisant un dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma de type triode avec des précurseurs de film à énergie thermique

Chisato Niikura et al., EPJ Applied Physics, 2020

Propriétés des films de ZnO dopés au bore préparés par la méthode de pulvérisation réactive: Application aux cellules solaires à couches minces de silicium amorphe

Bose et al., Journal of Materials Science & Technology, 2019

BoardVitals CME Pro Plus - Gagnez jusqu'à 100 crédits AMA PRA Catégorie 1TM et obtenez une carte-cadeau Amazon ou Apple gratuite

Sponsorisé par BoardVitals CME - 2020

Progrès de la recherche dans la synthèse contrôlable du graphène par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma

LI Na et al., Journal of Materials Engineering, 2020

Propriétés des films d'oxyde de silicium décoratifs fonctionnels préparés par PECVD

Dong ZHANG et al., Journal chinois de recherche sur les matériaux, 2019

Influence de la température de recuit sur la
cristallisation catalysée par un métal du carbone
amorphe tétraédrique en graphène
Panpan LIU et al., Chinese Journal of Materials
Research, 2018

Alimenté par **TREND MD**

Je consens à l'utilisation de Google Analytics et des cookies associés sur le réseau TrendMD (widget, site Web, blog). [Apprendre
encore plus](#)

Oui

Non

Photovoltaïque EPJ

Rédacteur en chef: Pere Roca i Cabarrocas, Daniel Lincot - [Comité de rédaction](#)

eISSN: 2105-0716

Copyright / Publié par: [EDP Sciences](#)



[Mentions légales](#)

[Contacts](#)

[Politique de confidentialité](#)