

[Tous les numéros](#) ▶ [Volume 11 \(2020\)](#) ▶ [EPJ Photovolt., 11 \(2020\) 3](#) ▶ Full HTML[Semi-conducteurs désordonnés et applications photovoltaïques](#)

Accès libre

| | |
|---------------------|---|
| Problème | EPJ Photovolt. Volume 11, 2020 Semi-conducteurs désordonnés et applications photovoltaïques |
| Numéro de l'article | 3 |
| Nombre de pages) | 6 |
| EST CE QUE JE | https://doi.org/10.1051/epjpv/2020001 |
| Publié en ligne | 04 février 2020 |

EPJ Photovoltaïque 11, 3 (2020)

<https://doi.org/10.1051/epjpv/2020001>

Article régulier

Impact du dépôt de PECVD $\mu\text{-Si: H}$ sur l'oxyde tunnel pour passiver les contacts

Anatole Desthieux^{1, 2, 3 *}, Jorge Posada^{1, 2}, Pierre-Philippe Grand^{1, 2}, Cédric Broussillou⁴, Barbara Bazer-Bachi⁴, Gilles Goær⁴, Davina Messou^{2, 5}, Muriel Bouttemy^{2, 5}, Etienne Drahi^{2, 6} et Pere Roca i Cabarrocas^{2, 3}

¹ EDF R&D, Bvd Gaspard Monge, 91120 Palaiseau, France² Institut Photovoltaïque d'Ile-de-France (IPVF), 18 Bvd Thomas Gobert, 91120 Palaiseau, France³ LPICM, CNRS, Ecole Polytechnique, Institut Polytechnique de Paris, route de Saclay, 91128 Palaiseau, France⁴ Photowatt, EDF ENR PWT, 33 rue Saint-Honoré, ZI Champfleuri, 38300 Bourgoin-Jallieu, France⁵ ILV, Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines, Université Paris-Saclay, CNRS, 78035 Versailles, France⁶ TOTAL GRP, 2 Place Jean Millier - La Défense 6, 92078 Paris La Défense Cedex, France* e-mail: anatole.desthieux@edf.fr

Reçu: 26 septembre 2019 Reçu sous forme définitive: 16 décembre 2019 Accepté: 6 janvier 2020 Publié en ligne: 4 février 2020

Abstrait

Les contacts passivants deviennent une option courante dans l'industrie photovoltaïque actuelle en raison de leur capacité à fournir une passivation de surface exceptionnelle ainsi qu'une bonne conductivité pour la collecte des porteurs. Cependant, leur intégration nécessite généralement de longues étapes de recuit qui ne sont pas souhaitables dans l'industrie. Dans ce travail, nous étudions le PECVD comme moyen de réaliser toutes les étapes de dépôt: oxyde de silicium (SiO_x), silicium polycristallin dopé (poly-Si) et nitrure de silicium (SiN_x : H), suivis d'une seule étape de cuisson. Le cloquage de la couche de poly-Si a été évité en déposant du silicium microcristallin (p^+) ($\mu\text{-Si: H}$). Nous rapportons l'impact de cette étape de dépôt sur le SiO_x couche déposée par PECVD, et sur les propriétés de passivation en comparant le PECVD et l'oxyde chimique humide

Table des matières

Article

[Abstrait](#)[HTML complet](#)[PDF \(1,091 Mo\)](#)[ePUB \(3,989 Mo\)](#)[Les références](#)

Métrieque

[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

[Couches de nitrure de silicium amorphe optimisées pour la passivation frontale des cellules solaires c-Si PERC](#)

EPJ Photovolt. 11, 6 (2020)

[Surveillance du plasma et contrôle de processus PECVD dans la fabrication de cellules solaires à couche mince à base de silicium](#)

EPJ Photovoltaics 5, 55202 (2014)

[Utilisation de l'hexaméthylidisiloxane pour les couches d'oxycarbure de silicium microcristallin de type p](#)

EPJ Photovoltaics 7, 70301 (2016)

Plus

Bookmarking

[Services aux lecteurs](#)[Alerte email](#)[Haut](#)[Abstrait](#)[1. Introduction](#)[2 méthodes](#)

dans cet empilement de contacts passivants sélectifs au trou. Nous avons atteint $iVoc > 690$ mV sur des plaquettes FZ de type p pour $SiO_x \backslash (p^+)$ μ -Si $\backslash SiN_x$: H chimique humide sans étape de recuit.

Mots clés: Cellule solaire silicium / contact passivant / oxyde de silicium / μ -Si: H / PECVD / XPS / passivation / coulé mono

© A. Desthieux 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.

[3. Résultats et discussion](#)

[4. Conclusion](#)

[Déclaration de contribution de l'auteur](#)

[Remerciements](#)

[Les références](#)

[Liste des tableaux](#)

[Liste des figures](#)

1. Introduction

La cellule solaire en silicium cristallin est la technologie dominante sur le marché photovoltaïque (PV) d'aujourd'hui. Afin de favoriser le développement du PV et de le rendre économiquement plus compétitif, il est nécessaire de réduire davantage les coûts de production ainsi que d'augmenter l'efficacité des cellules. Pour atteindre ce dernier, la réduction des pertes de recombinaison à l'interface métal / semi-conducteur est d'une importance capitale. Pour ce faire, l'intégration de contacts dits passivants est une option principale [1-3]: ils sont constitués d'un empilement oxyde de silicium (SiO_x) \ silicium polycristallin dopé (poly-Si) qui permet une passivation de surface exceptionnelle tout en offrant une faible résistance série et une conductivité plus élevée que l'a-Si: H dopé.

Quant à la réduction des coûts, la principale option est de réduire le nombre d'étapes de traitement. Par exemple, Ingenito et al. utiliser une seule étape de cuisson à la fois pour mettre en contact et recuire la cellule, tout en limitant le budget thermique global appliqué à la tranche de silicium [4]. De plus, des couches de SiO_x et de poly-Si dopé peuvent être déposées séquentiellement par PECVD [5]. Une autre façon de réduire davantage les coûts consiste à utiliser des plaquettes de silicium de haute qualité à faible coût. C'est le cas de la technologie du mono-silicium coulé, qui a atteint sa maturité industrielle et est actuellement commercialisée par des sociétés comme Photowatt à travers leur technologie Crystal Advanced [6].

L'objectif de ce travail est d'étudier la faisabilité d'une route à faible budget thermique pour la fabrication de contacts passivants sélectifs de trous en utilisant un processus PECVD complet, et d'étudier la pertinence d'utiliser des plaquettes de silicium mono-coulées.

2 méthodes

2.1 Fabrication de l'échantillon

2.1.1 Substrat

Tout d'abord, les couches de SiO_x et (p^+) poly-Si ont été développées sur une face de plaquettes de silicium Cz de type n polies double face (DSP) (280 μ m d'épaisseur et résistivité de 1 à 5 Ω .cm), qui étaient nettoyé avec un trempage HF (5% pendant 30 s). Deuxièmement, les «échantillons à vie» étaient des structures symétriques, déposées sur trois types de substrats de silicium de type p décrits dans le [tableau 1](#).

Ces plaquettes ont été nettoyées au RCA et l'oxyde restant a été éliminé par un trempage HF (HF dilué à 5% dans de l'eau désionisée DIW, pendant 20 s).

Tableau 1 Caractéristiques des plaquettes de type p utilisées pour les échantillons à vie. SDR signifie l'élimination des dommages causés par la scie et le bain de texturation est composé de KOH et d'additifs.

2.1.2 Outils

La couche de SiO_x a été soit déposée dans un réacteur RF-PECVD Octopus II (INDEOtec) à 175 ° C avec un mélange gazeux de SiH_4 , H_2 et CO_2 , soit cultivée chimiquement par voie humide en utilisant un deuxième cycle de procédé RCA2 (DIW, H_2O_2 , mélange HCl pendant 10 min à 75 ° C). La couche de (p^+) Si a été déposée par PECVD dans Octopus II à 175 ° C avec un mélange gazeux de SiH_4 , H_2 et de triméthylborane (B

(CH₃)₃, noté TMB). La couche de nitrure de silicium (SiN_x:H) a été déposée dans un réacteur RF-PECVD à couplage capacitif (MVSsystems) à 340 ° C avec un mélange gazeux de SiH₄ et NH₃. Sur quelques échantillons

symétriques, nous avons déposé un empilement de (i) a-Si: H (n⁺) a-Si: H dans Octopus II à 175 ° C. Les étapes de recuit et de cuisson ont été effectuées dans un four de recuit thermique rapide Jetfirst (Jipelec).

2.1.3 Différents lots

Dans le lot 1, PECVD SiO_x tel que déposé de 1 à 2 nm d'épaisseur, ainsi que le PECVD (p⁺) μ-Si: H de 30 nm d'épaisseur sur SiO_x avant et après l'étape de cuisson (1 s à 850 ° C) ont été optiquement optimisés et étudiés.

Dans le lot 2, la durée de vie effective des «échantillons à vie» avec 1–2 nm PECVD SiO_x \ 30 nm PECVD (p⁺) μ-Si: H \ 70 nm PECVD SiN_x: H a été mesurée. Dans le lot 3, passivation des «échantillons à vie» avec 1 à 2

nm de SiO chimique humide \ 30 nm PECVD (p⁺) μ-Si: H \ 70 nm PECVD SiN_x: H a également été étudié. Le lot 4 était un lot de passivation de référence, afin d'évaluer la passivation la plus élevée qui peut actuellement être atteinte sur nos wafers, en déposant un empilement de 10 nm (i) a-Si: H \ 60 nm (n⁺) a-Si: H suivi d'une étape de recuit à 220 ° C pendant 10 min.

2.2 Caractérisation

Les propriétés optiques des couches déposées ont été mesurées par ellipsométrie spectroscopique (SE) avec un ellipsomètre Horiba Jobin Yvon Uvisel 2. Les données ont été traitées avec le logiciel DeltaPsi2 ©.

Les analyses par spectroscopie photoélectronique aux rayons X (XPS) ont été réalisées avec un spectromètre Thermo Fischer K-Alpha⁺ en utilisant une source monochromatique Al-Kα à 1486,6 eV. La composition en profondeur et les environnements chimiques ont été obtenus par pulvérisation séquentielle Ar⁺ (1000 eV, 30 s). La taille du spot XPS était de 400 μm pour une profondeur sondée de l'ordre de 10 nm. Les spectres haute résolution ont été acquis en utilisant une énergie de passage de 20 eV. Les données ont été traitées à l'aide du logiciel Thermo Advantage ©.

Des images de la surface des échantillons ont été acquises avec un microscope confocal OLS5000 (Olympus). Les durées de vie des échantillons symétriques ont été mesurées par photoconductance quasi stable en utilisant un WCT-120 (Sinton Instruments). Des images de photoluminescence (PL) calibrées à vie ont été acquises avec un LIS-R2 (BT Imaging).

3. Résultats et discussion

3.1 Processus PECVD

Nous avons développé un procédé de dépôt de SiO_x par PECVD à 175 ° C (Lot 1). Afin de fournir la quantité d'oxygène requise, nous avons augmenté le rapport des débits de gaz $r = \text{CO}_2 / \text{SiH}_4$. Les propriétés optiques de ces films ont été mesurées par SE, et équipées du modèle Tauc-Lorentz [7]. Pour $r = 10$, nous avons un matériau avec $n(633 \text{ nm}) = 1,6$ et $k(400 \text{ nm}) = 0,007$.

Dans la fabrication de contacts passivants standard, une couche de silicium amorphe hydrogéné (a-Si: H) est déposée, puis recuite pendant une longue période à haute température (généralement 850 ° C pendant 30 min ou plus [5,8-10]). Cela peut entraîner la formation de cloques. Le but de ce travail étant de dépenser un budget thermique faible, cette étape de recuit a été sautée. Cependant, une seule étape de cuisson entraîne une contrainte encore plus élevée, ce qui facilite la formation de cloques. Une façon de résoudre ce problème était de diluer SiH₄ dans H₂ [10,11]. Nous avons déposé 1 à 2 nm de PECVD SiO_x (dépôt de 30 s), puis déposé la couche de silicium dopé au bore par-dessus. Pour ce faire, nous avons fait varier le débit de SiH₄, et par conséquent sa dilution en hydrogène. Les échantillons ont ensuite été soumis à une étape de cuisson (850 ° C pendant quelques secondes). Les images confocales de la surface sont illustrées à la figure 1. On peut voir qu'à un rapport de débit $R = \text{H}_2 / \text{SiH}_4$ plus faible ($R = 50$), il se forme beaucoup de cloques, alors qu'à $R = 125$, aucune n'est visible. Les épaisseurs des couches sont respectivement, pour $R = 50/63/83/125$: 38/33/26/24 nm, mesuré par ellipsométrie dans les couches représentées sur la figure 1. Des expériences ont été réalisées avec des épaisseurs de couche adaptées (35/37/35/37 nm) et la même tendance est obtenue, avec des cloques apparaissant pour les 3 premiers échantillons, et pas de blister pour $R = 125$.

Les propriétés optiques de ces quatre échantillons ont été mesurées par SE avant recuit, et des modèles ont été réalisés afin de les adapter comme un empilement d'une couche de SiO_x avec des propriétés optiques fixes - connues par les mesures SE de l'étape d'optimisation de SiO_x - et un couche moyenne effective composée d'un mélange de a-Si: H, de vides et de $\mu\text{-Si: H}$ au-dessus (modèle de Bruggeman [12]). La figure 2 montre la fraction cristalline de la couche de silicium (fraction du matériau ajusté en tant que matériau c-Si à petits grains), et l'épaisseur ajustée de la couche d'oxyde sous-jacente. La fraction cristalline a augmenté lors de la diminution du débit de silane. De manière surprenante, l'épaisseur de la couche d'oxyde semble également diminuer. Afin d'étudier ce phénomène, une analyse XPS a été réalisée sur les échantillons déposés avec des rapports de débit $R = 50$ et $R = 125$.

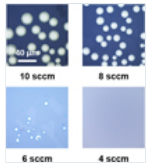


Fig. 1 Images confocales de la surface d'échantillons $\text{SiO}_x / (\text{p}) \mu\text{-Si: H}$ après l'étape de cuisson (Lot 1) pour différents ratios $R = \text{H}_2 / \text{SiH}_4$.

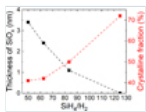


Fig. 2 Evolution de la fraction cristalline dans la couche de silicium PECVD, et ajustement de l'épaisseur d'oxyde de silicium avec le rapport de débit $\text{SiH}_4 / \text{H}_2$ sur les échantillons du lot 1 avant l'étape de cuisson. L'épaisseur nominale de SiO_x est de 2,2 nm.

3.2 Morphologie de la couche PECVD SiO_x

Pour avoir un aperçu de l'évolution possible de l'épaisseur de la couche de SiO_x enterrée, des analyses de profil de profondeur XPS ont été réalisées sur des échantillons du lot 2 avec une couche de silicium de 30 nm d'épaisseur déposée avec $R = \text{SiH}_4 / \text{H}_2 = 50$ ou $R = 125$ au-dessus de le même oxyde. Les profils de concentration XPS Si et O obtenus sur l'échantillon $R = 125$ sont présentés à la figure 3. Malgré la sensibilité de surface élevée du XPS, la détection de cette couche ultra-mince de SiO_x est difficile car son épaisseur de 1 à 2 nm est inférieure à la profondeur d'échappement des photoélectrons émis, ce qui nécessite l'optimisation de la séquence d'abrasion pour ne pas traverser la couche.

Ce profil met en évidence trois régions en accord avec la structure d'empilement $\mu\text{-Si: H}$, SiO_x et c-Si correspondante.

Contrairement à ce qui a été estimé par SE, pour un échantillon avec $\text{SiH}_4 / \text{H}_2 = 125$, ce profil montre que la couche d'oxyde est toujours présente entre le c-Si et la couche $\mu\text{-Si: H}$. Une bosse de concentration en oxygène est bien visible, avec un maximum de la teneur en oxygène correspondant au moment où la surface de la couche d'oxyde de silicium est atteinte. En effet, la résolution en profondeur étant limitée par la profondeur d'échappement approximative de 10 nm des photoélectrons, l'oxygène commence à être détecté avant que l'interface ne soit physiquement atteinte par pulvérisation puis commence à diminuer par la suite, tandis que la teneur en Si augmente à l'inverse.

La figure 4a montre les niveaux de cœur de Si2p mesurés à la surface des échantillons de couche d'oxyde enterrée avec a-Si: H ($R = 50$) et $\mu\text{-Si}$ ($R = 125$) comme couche de silicium. Le spectre de référence obtenu sur un 1-2 nm de SiO_x déposé par PECVD sur une plaquette de silicium préalablement nettoyée par HF est présenté à titre de comparaison. L'intensité du pic situé à 98,8 eV correspondant aux liaisons Si - Si est la même pour tous les spectres. Comme il est lié à la collecte des photoélectrons émis par la plaquette de c-Si sous l'oxyde, et que l'intensité diminue avec l'épaisseur de l'oxyde au-dessus, on peut estimer qu'il n'y a pas de gravure apparente du SiO_x couches. Cependant, on peut voir que les contributions Si-O à énergie de liaison plus élevée sont notablement modifiées. Le trait caractéristique bien défini et sensiblement symétrique autour de 103,0 eV obtenu pour la référence PECVD SiO_x , est modifié indiquant des changements dans le réseau d'oxydes et la présence d'un ensemble de sous-oxydes en relation avec la forme en queue de la partie gauche du Si2p de pointe. C'est une information importante car cela signifie que dans les deux conditions étudiées, le dépôt de la couche de silicium modifie considérablement la chimie de la couche d'oxyde. Figure 4b montre les photopics O1 correspondants. On constate que la teneur globale en oxygène des couches encapsulées a significativement diminué, en accord avec la présence de sous-oxydes. Une explication possible de la perte d'oxygène après dépôt de silicium peut être un phénomène de gravure par le plasma d'hydrogène opéré lors de l'étape de dépôt (p) $\mu\text{-Si: H}$. Pour résumer, le dépôt de la couche de

silicium au-dessus de notre couche de SiO_x cultivée par PECVD ne l'enlève ni ne réduit son épaisseur, mais il modifie sa chimie, conduisant à l'élimination de l'oxygène et des changements dans le degré d'oxydation. Cependant, aucune différence majeure n'a pu être observée entre les deux échantillons étudiés ($\alpha\text{-Si:H}$ avec $R = 50$ et $\mu\text{-Si}$ avec $R = 125$), questionnant ainsi la précision du modèle SE pour de telles couches minces enterrées.

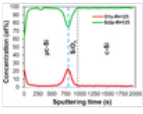


Fig. 3
 Profil de concentration d'un empilement tel que déposé de c-Si \ PECVD SiO_x \ PECVD (p^+) $\mu\text{-Si:H}$ (déposé avec $R = 125$) à partir du lot 1.

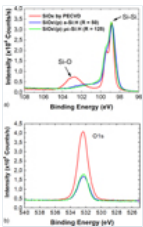


Fig. 4
 (a) Spectres Si2p et (b) O1s à la surface de la couche d'oxyde (Lot 1).

3.3 Passivation des plaquettes FZ DSP

Dans les [tableaux 2 et 3](#), nous comparons la durée de vie des porteurs minoritaires et la V_{oc} implicite d'échantillons symétriques pour RF-PECVD et les oxydes chimiques humides standard (RCA2) comme méthodes de dépôt de l'oxyde dans l'empilement SiO_x \ (p^+) $\mu\text{-Si}$ \ SiN_x : H. La couche (p^+) $\mu\text{-Si:H}$ est déposée avec un $\text{H}_2 / \text{SiH}_4$ rapport gazeux de 125. Les échantillons sont tels que déposés (pas d'étape de recuit). On peut remarquer que la passivation fournie par l'empilement avec l'oxyde PECVD est très faible, contrairement à celle avec l'oxyde chimique humide. Cela signifie que les conditions de processus utilisées ne sont pas encore adaptées à la passivation des contacts. Bien que la durée de vie de cet échantillon soit limitée à $6 \mu\text{s}$, celui avec l'oxyde humide avec coiffage SiN_x : H atteint $909 \mu\text{s}$ et 693 mV de V_{oc} implicite. La très forte augmentation de la passivation avec SiN_x : H peut s'expliquer par l'in-diffusion d'hydrogène de la couche SiN_x : H vers l'interface c-Si \ SiO_x . Une image de photoluminescence calibrée pendant la durée de vie de cet échantillon est illustrée à la [figure 5](#). Localement, la passivation obtenue est nettement supérieure à la moyenne des $909 \mu\text{s}$, atteignant des valeurs allant jusqu'à $1,3 \text{ ms}$.

Les échantillons ont été soumis à une étape de cuisson. La passivation a été sévèrement endommagée ($5 \mu\text{s}$, 570 mV). C'était un comportement attendu en l'absence d'étape d'hydrogénation supplémentaire. En effet, Lehmann et al. ont récemment montré que dans le cas de contacts passivés cuits, une étape d'hydrogénation ultérieure est nécessaire pour obtenir une qualité de passivation élevée [13]. Des recherches supplémentaires doivent être effectuées sur la couche de coiffage afin de gêner l'épanchement d'hydrogène au cours de cette étape.

Tableau 2 Durée de vie des échantillons symétriques des lots 2 et 3 sur plaquettes FZ avec SiO_x \ (p^+) $\mu\text{-Si}$ humide avant et après dépôt de SiN_x : H (pas d'étape de recuit).

Tableau 3 V_{oc} implicite d'échantillons symétriques des lots 2 et 3 sur plaquettes FZ avec SiO_x \ (p^+) $\mu\text{-Si}$ humide avant et après dépôt de SiN_x : H (pas d'étape de recuit).

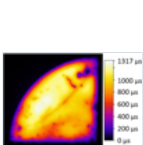


Fig. 5
 Image de photoluminescence calibrée en durée de vie d'une plaquette FZ DSP 1/4 de type p passivée par un empilement humide SiO_x \ (p^+) $\mu\text{-Si}$ \ SiN_x : H (Lot 3) sans étape de recuit.

3.4 Cz par rapport aux plaquettes texturées mono-coulées

Pour l'intégration industrielle, il est d'une importance majeure de déposer les contacts de passivation sur des substrats d'intérêt industriel, tels que des plaques de silicium texturé Cz ou mono-coulées. La passivation fournie par les contacts passivés avec SiO_x humide est également comparée à celle fournie par le silicium

amorphe ((i) a-Si: H \backslash (n⁺) a-Si: H stack) comme indiqué dans le [tableau 4](#). Aucune différence n'est observée entre les wafers mono-cast et Cz en ce qui concerne iVoc, ce qui signifie que l'intégration de contacts passivants sur des wafers mono-cast vaut vraiment la peine d'être étudiée. Il est largement connu que les plaquettes texturées sont plus difficiles à passiver que les plaquettes polies chimiquement, principalement en raison d'une surface accrue et d'un plus grand nombre d'imperfections cristallographiques [14]. En conséquence, le procédé doit encore être optimisé pour réduire la différence entre les contacts passivants et la passivation a-Si: H, et l'étape de cuisson doit être réalisée afin de permettre à l'hydrogène contenu dans la couche SiN_x : H de diffuser et passiver l'interface.

Tableau 4 Voc implicite d'échantillons symétriques des lots 3 et 4 pour différentes piles de passivation sur des plaquettes Cz et mono-coulées.

4. Conclusion

Dans cette étude, nous avons montré qu'il est possible de réaliser une structure de contact passivante sans boursoflure après une seule étape de cuisson en déposant du $\mu\text{c-Si: H}$ dopé par PECVD sans recuit au-dessus de la couche d'oxyde. Il a été démontré que cette étape de dépôt conduit à des changements dans la stoechiométrie de l'oxyde enterré, avec une perte d'oxygène évidente, entraînant une conversion en phases sous-oxydes et une modification probable du réseau d'oxyde. 693 mV d'iVoc et 930 μs de durée de vie ont été

atteints sur une plaquette FZ de type p avec un simple empilement de wet- SiO_x \backslash (p⁺) $\mu\text{c-Si: H}$ \backslash SiN_x : H à l'état tel que déposé, sans étape de recuit. La passivation comparable entre les plaquettes Cz et Monocast a montré qu'il est intéressant de continuer à étudier l'intégration de contacts passivants sur ce type de plaquettes.

Déclaration de contribution de l'auteur

Anatole Desthieux: auteur principal et contributeur de cet ouvrage. J'ai fait toutes les expériences en dehors des mesures XPS. A écrit l'article. Jorge Posada: a fait toute la chimie liée au nettoyage des échantillons et des oxydes chimiques. Davina Messou: mesures et analyses XPS. Barbara Bazer-Bachi, Cédric Broussillou et Gilles Goer: expertises industrielles, retours scientifiques sur l'impact de l'intégration de TOPCon dans l'industrie. Traitement et préparation des substrats Monocast. Muriel Bouttemy: expertise XPS pour l'analyse de données. Pierre-Philippe Grand: expertise sur les procédés de cellules solaires au silicium. Etienne Drahi: expertise sur les procédés des cellules solaires au silicium. Chef de projet et beaucoup de retours d'expérience sur les techniques de caractérisation et autres investigations. Pere Roca i Cabarrocas: expertise des procédés plasma et sous vide. Aide à analyser toutes les données,

Remerciements

Nous remercions l'Agence Nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT-CIFRE 2018/1033) pour le financement de cette recherche. Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet A de l'IPVF (Institut Photovoltaïque d'Ile-de-France) et a été soutenu par le Gouvernement français dans le cadre du programme d'investissement pour l'avenir (Programme d'Investissement d'Investissement Avenir - ANR-IEED-002-01).

Les références

1. F. Feldmann, M. Bivour, C. Reichel, M. Hermle, SW Glunz, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **120**, 270 (2014) [[Google Scholar](#)]
2. R. Peibst, U. Romer, KR Hofmann, B. Lim, TF Wietler, J. Krugener, N.-P. Harder, R. Brendel, IEEE J. Photovolt. **4**, 841 (2014) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
3. MK Stodolny, J. Anker, BLJ Geerligs, GJM Janssen, BWH van de Loo, J. Melskens, R. Santbergen, O. Isabella, J. Schmitz, M. Lenes, J.-M. Luchies, WMM Kessels, I. Romijn, Energy Proc. **124**, 635 (2017) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
4. A. Ingenito, G. Nogay, Q. Jeangros, E. Rucavado, C. Allebé, S. Eswara, N. Valle, T. Wirtz, J. Horzel, T. Koida, M. Morales-Masis, M. Despeisse, F.-J. Haug, P. Löper, C. Ballif, Nat. Energy **3**, 800 (2018) [[Google Scholar](#)]

5. N.Nandakumar, J. Rodriguez, T.Kluge, T.Grosse, D.Landgraf, N.Balaji, M. Esber, P. Padhamnath, S.Dutttagupta, dans *IEEE 7th WCPEC, Waikoloa Village, HI, USA, 2018*, p. 4 [\[Google Scholar\]](#)
6. Photowatt, <http://www.photowatt.com/produits/modules/pw2450f-crystal-advanced> [\[Google Scholar\]](#)
7. GE Jellison, FA Modine, Appl. Phys. Lett. **69**, 371 (1996) [\[Google Scholar\]](#)
8. AS Kale, W. Nemeth, SP Harvey, M. Page, DL Young, S. Agarwal, P. Stradins, Sol. Energy Mater. Cellules solaires **185**, 270 (2018) [\[CrossRef\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
9. F. Feldmann, M. Simon, M. Bivour, C. Reichel, M. Hermle, SW Glunz, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **131**, 100 (2014) [\[Google Scholar\]](#)
10. A. Morisset, R. Cabal, B. Grange, C. Marchat, J. Alvarez, M.-E. Gueunier-Farret, S. Dubois, J.-P. Kleider, Sol. Energy Mater. Solar Cells **200**, 109912 (2019) [\[CrossRef\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
11. H. Kim, S. Bae, K.-S. Ji, SM Kim, JW Yang, CH Lee, KD Lee, S. Kim, Y. Kang, H.-S. Lee, D. Kim, Appl. Le surf. Sci. **409**, 140 (2017) [\[Google Scholar\]](#)
12. DAG Bruggeman, Ann. Phys. **416**, 636 (1935) [\[Google Scholar\]](#)
13. M. Lehmann, N. Valle, J. Horzel, A. Pshenova, P. Wyss, M. Döbeli, M. Despeisse, S. Eswara, T. Wirtz, Q. Jeangros, A. Hessler-Wyser, F.-J. Haug, A. Ingenito, C. Ballif, Sol. Energy Mater. Sol. Cellules **200**, 110018 (2019) [\[Google Scholar\]](#)
14. H. Angermann, J. Rappich, in *Physics and Technology of Amorphous-Crystalline Heterostructure Silicon Solar Cells*, édité par WGJHM van Sark, L. Korte, F. Roca (Springer, Berlin, 2012), pp. 45-94 [\[CrossRef\]](#) [\[Google Scholar\]](#)

Citez cet article comme suit: Anatole Desthieux, Jorge Posada, Pierre-Philippe Grand, Cédric Broussillou, Barbara Bazer-Bachi, Gilles Goaer, Davina Messou, Muriel Bouttemy, Etienne Drahi, Pere Roca i Cabarrocas, Impact of PECVD $\mu\text{-Si:H}$ deposition sur oxyde tunnel pour passivation des contacts, EPJ Photovoltaics **11**, 3 (2020)

Tous les tableaux

Tableau 1 Caractéristiques des plaquettes de type p utilisées pour les échantillons à vie. SDR signifie l'élimination des dommages causés par la scie et le bain de texturation est composé de KOH et d'additifs.

[↑ Dans le texte](#)

Tableau 2 Durée de vie des échantillons symétriques des lots 2 et 3 sur plaquettes FZ avec $\text{SiO}_x \backslash (p^+)$ $\mu\text{-Si:H}$ humide avant et après dépôt de SiN_x : H (pas d'étape de recuit).

[↑ Dans le texte](#)

Tableau 3 Voc implicite d'échantillons symétriques des lots 2 et 3 sur plaquettes FZ avec $\text{SiO}_x \backslash (p^+)$ $\mu\text{-Si:H}$ humide avant et après dépôt de SiN_x : H (pas d'étape de recuit).

[↑ Dans le texte](#)

Tableau 4 Voc implicite d'échantillons symétriques des lots 3 et 4 pour différentes piles de passivation sur des plaquettes Cz et mono-coulées.

[↑ Dans le texte](#)

Tous les chiffres

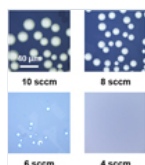
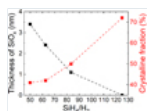


Fig. 1

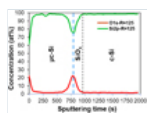
Images confocales de la surface d' échantillons $\text{SiO}_x \backslash (p)$ $\mu\text{-Si:H}$ après l'étape de cuisson (Lot 1) pour différents ratios $R = \text{H}_2 / \text{SiH}_4$.

Fig. 2



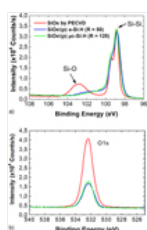
Evolution de la fraction cristalline dans la couche de silicium PECVD, et ajustement de l'épaisseur d'oxyde de silicium avec le rapport de débit $\text{SiH}_4 / \text{H}_2$ sur les échantillons du lot 1 *avant l'étape de cuisson*. L'épaisseur nominale de SiO_x est de 2,2 nm.

Fig. 3



Profil de concentration d'un empilement tel que déposé de c-Si \ PECVD SiO_x \ PECVD (ρ^+) $\mu\text{-Si:H}$ (déposé avec $R = 125$) à partir du lot 1.

Fig. 4



(a) Spectres Si2p et (b) O1s à la surface de la couche d'oxyde (Lot 1).

Fig. 5

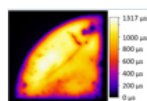


Image de photoluminescence calibrée en durée de vie d'une plaquette FZ DSP 1/4 de type p passivée par un empilement humide SiO_x \ (ρ^+) $\mu\text{-Si}$ \ SiN_x : H (Lot 3) sans étape de recuit.

Nous recommandons

Vers un rendement stabilisé de 12% dans les cellules solaires en silicium polymorphe à simple jonction: développements expérimentaux et prédictions de modèles

Sergey Abolmasov, EPJ Photovolt., 2016

Optimisation géométrique et comparaison des performances électriques de structures en tandem à couches minces basées sur pm-Si: H et $\mu\text{-Si:H}$ par simulation informatique

F. Dadouche, EPJ Photovolt., 2011

Utilisation de l'hexaméthylidisiloxane pour les couches d'oxycarbure de silicium microcristallin de type p

Prabal Goyal, EPJ Photovolt., 2016

Analyse d'une stratégie d'observateur pour la reconstruction de l'état initial de systèmes ondulatoires dans des domaines illimités

S. Imperiale et al., ESAIM: COCV, 2020

Facteurs limitant la tension en circuit ouvert dans les cellules solaires en silicium microcristallin

M. Nath et al., EPJ Photovolt., 2011

Adoption d'un oxyde de silicium microcristallin à large bande interdite et de doubles tampons pour les cellules solaires semi-transparentes dans un système de fenêtre photovoltaïque intégré au bâtiment

Yang Johwa et al., Journal of Materials Science & Technology, 2019

Adoption d'un oxyde de silicium microcristallin à large bande interdite et de doubles tampons pour les cellules solaires semi-transparentes dans un système de fenêtre photovoltaïque intégré au bâtiment

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

Takashi Murakami

Rubin, Edward et al., Artus 2011-2012: The Collector's Edition, 2013

Films de dépôt de couche atomique TiO_2 et piles $\text{TiO}_2 / \text{SiN}_x$ appliqués aux cellules solaires en silicium

Yang et al., Appl Sci, 2016

Traitement d'entretien Avelumab pour le carcinome urothélial avancé ou métastatique

Thomas Powles et al., NEJM, 2020

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](#)