



Tous les numéros ▶ Volume 11 (2020) ▶ EPJ Photovolt., 11 (2020) 7 ▶ 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	7
Nombre de pages	7
EST CE QUE JE	https://doi.org/10.1051/epjpv/2020004
Publié en ligne	09 juillet 2020

Photovoltaïque EPJ 11, 7 (2020)

<https://doi.org/10.1051/epjpv/2020004>

Article régulier

TiO₂ traité en solution comme couche de blocage de trous dans PEDOT: cellules solaires à hétérojonction PSS / n-Si

Md. Enamul Karim^{*}, ATM Saiful Islam^{*}, Yuki Nasuno, Abdul Kuddus, Ryo Ishikawa et Hajime Shirai

École supérieure de sciences et d'ingénierie, Université de Saitama, Saitama 338-8570, Japon

*
e-mail: saifulslm6@gmail.com

Reçu: 11 septembre 2019 Reçu sous sa forme définitive: 15 janvier 2020 Accepté: 7 avril 2020 Publié en ligne: 9 juillet 2020

Abstrait

Les propriétés de jonction à l'interface dioxyde de titane (TiO₂) / Si (n-Si) cristallin de type n ont été étudiées pour le poly (3,4-éthylènedioxythiophène): poly (styrène sulfonate) (PEDOT: PSS) / n -Cellules solaires à hétérojonction Si par les performances photovoltaïques en régime permanent et les caractérisations de récupération inverse transitoire. L'efficacité de conversion de puissance pourrait être augmentée de 11,23% à 13,08% en ajustant l'épaisseur de couche de TiO₂ conjointement avec l'augmentation de la tension en circuit ouvert et la suppression de la densité de courant de saturation sombre. Ces découvertes proviennent de l'amélioration de l'efficacité de collecte des porteurs à l'interface n-Si / cathode. La caractérisation de la récupération inverse transitoire a révélé que la vitesse de recombinaison de surface S'était d'environ 375 cm / s pour une double couche intermédiaire de TiO₂ d'une épaisseur d' environ 2 nm. Cette valeur était presque la même que celle déterminée par la mesure de la décroissance de la photoconductance micro-ondes. Ces résultats suggèrent que le TiO₂ traité en solution a un potentiel en tant que couche de blocage de trous pour le photovoltaïque Si cristallin.

Mots clés: couche de blocage de trous / TiO₂ / vitesse de recombinaison de surface / récupération inverse transitoire

© Md.E. Karim 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 (

Table des matières

Article

- Abstrait
- HTML complet
- PDF (3,738 Mo)
- ePUB (2,652 Mo)
- Les références

Métrique

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

Optimisation des cellules solaires à hétérojonction planaire organique avec ITO obtenu par pulvérisation par faisceau ionique

Eur. Phys. J. Appl. Phys. 36, 289-294 (2006)

Effet du recuit de la phtalocyanine de cuivre sur les performances des cellules photovoltaïques organiques interdigitées à hétérojonction en masse

Eur. Phys. J. Appl. Phys. (2012) 58: 20201

Rétroreflecteurs à diffusion de lumière enterrée (BLiS) nanomoulés utilisant des nanoparticules diélectriques pour la collecte de la lumière dans des cellules solaires en silicium à couche mince

EPJ Photovoltaics 11, 2 (2020)

Plus

Bookmarking



Services aux lecteurs

Alerte email

<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

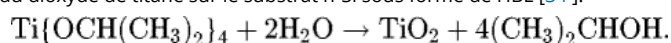
Des couches sélectives de support utilisant des oxydes métalliques et des matériaux organiques pour le photovoltaïque cristallin Si (c-Si) ont été largement étudiées pour remplacer la jonction pn classique à haute température et le traitement à basse pression. Ils comprennent l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3), NiO, l'oxyde de graphène et le polymère conducteur transparent poly (3,4-éthylènedioxythiophène): poly (styrène sulfonate) (PEDOT: PSS) en tant que couche de blocage d'électrons (EBL). Parmi eux, le PEDOT: PSS traité en solution fournit une bonne passivation du c-Si et agit comme une couche transparente de transport de trous, ce qui induit une forte inversion à l'interface PEDOT: PSS / n-Si sans aucun dopage d'impureté supplémentaire. Les propriétés de jonction aux interfaces PEDOT: PSS / n-Si peuvent être expliquées en termes de modèle de jonction $p^+ - n$ [1 -3]. Cependant, la courbure de la bande à l'interface de cathode arrière est toujours inférieure à celle de l'interface anodique malgré l'utilisation d'un métal à faible fonction de travail [4 -6]. Pour y remédier, plusieurs matériaux interfaciaux qui agissent comme une couche sélective d'électrons (ESL) ont été étudiés, y compris les oxydes de métaux de transition et les métaux alcalins fluorés tels que l'oxyde de magnésium (MgO) [7], oxyde de titane (TiO_2) [8 -13], hydroxyde de baryum ($\text{Ba}(\text{OH})_2$) [14, 15], carbonate de césium (Cs_2CO_3) [16, 17], fluorure de lithium (LiF) [18, 19], fluorure de magnésium (MgF_2) [20]. Parmi eux, il a été montré que TiO_2 sur Si (100) bloque les trous ($\Delta E_V \geq 2,3$ eV) tout en étant transparent aux électrons ($\Delta E_C < 0,3$ eV), agissant ainsi comme une couche de blocage de trous (HBL). Plusieurs méthodes de dépôt ont été appliquées pour la fabrication de couches minces de TiO_2 comme le PE-CVD [21 -24], dépôt chimique en phase vapeur de métal organique (MO-CVD) [25], dépôt laser pulsé (PLD) [26], dépôt de couche atomique (ALD) [27 -30], pulvérisation [31] et sol-gel [32]. Parmi eux, l'ALD de TiO_2 a été largement étudié et des vitesses de recombinaison de porteurs minoritaires efficaces inférieures à $100 \text{ cm}^2/\text{s}$ ont été atteintes [33]. Cependant, le potentiel du TiO_2 traité en solution en tant que HBL pour les cellules solaires à hétérojonction n-Si n'est toujours pas clair.

La présente étude démontre le potentiel du TiO_2 traité en solution en tant que HBL pour améliorer les performances photovoltaïques de PEDOT: cellules solaires à double hétérojonction PSS / n-Si / TiO_2 . Les propriétés de jonction des interfaces cathodiques n-Si / TiO_2 sont également étudiées en termes de mesure transitoire de récupération inverse T_{rr} pour déterminer la vitesse de recombinaison de surface efficace S à l'interface n-Si / TiO_2 .

2 Procédure expérimentale

2.1 TiO_2 traité en solution et fabrication de l'appareil

La figure 1 montre la structure moléculaire de PEDOT: PSS et la structure du dispositif des cellules solaires à double hétérojonction PEDOT: PSS / n-Si / TiO_2 . Les deux faces polies $2 \times 2 \text{ cm}^2$ de type n (100) CZ tranches c-Si ($1-5 \Omega \text{ cm}$) avec une épaisseur de $250 \mu\text{m}$ ont été utilisés comme substrat de base. Avant le dépôt du film, les substrats de n-Si ont été nettoyés aux ultrasons avec de l'acétone, de l'isopropanol et de l'eau désionisée pendant 10 minutes chacun, suivi d'un traitement à 5% en poids de HF_{aq} pendant 3 minutes pour éliminer l'oxyde natif. Dans un premier temps, une solution de PEDOT: PSS (préparé à partir de Clevios^R PH1000 en ajoutant de l'éthylène-glycol et du fluorosurfactant Capstone dans un rapport de 93: 7: 0,16% en poids) a été enduit par centrifugation (SC) sur le substrat de n-Si nettoyé, suivi d'un recuit thermique à 140°C pendant 30 min pour éliminer le solvant résiduel. Ensuite, les électrodes de grille Ag ont été sérigraphiées en haut du PEDOT: PSS. Dans une étape suivante, une solution de précurseur de tétraisopropoxyde de titane [$\text{Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4$: TiP] diluée dans de l'alcool isopropylique à trois concentrations différentes de 0,5, 1 et 2 mg/ml a été centrifugée à 3000 tr/min pendant 40 s sur la face arrière du n-Si suivi d'un recuit thermique à 140°C pendant 10 min pour éliminer le solvant résiduel. La réaction d'hydrolyse décrite ci-dessous a été appliquée pour synthétiser du dioxyde de titane sur le substrat n-Si sous forme de HBL [34].



Haut

Abstrait

1. Introduction

2 Procédure expérimentale

3. Résultats et discussion

4 Résumé et conclusions

Déclaration de contribution de l'auteur

Deux types de structures de dispositifs ont été fabriqués comme le montre la figure 1 b. L'une est une simple couche de PEDOT: cellules solaires à double hétérojonction PSS (80 nm) / n-Si / TiO₂ de 1, 2 et 3 nm d'épaisseur TiO₂, formées en ajustant la concentration de la solution sur le dessus de l'électrode grille en Ag, pour comprendre l'effet d'épaisseur du TiO₂ sur l'interface cathodique. L'autre est le revêtement alterné de couches de TiO₂ pour supprimer la zone de jonction au niveau du contact Ag / n-Si. Cette structure a été fabriquée en formant d'abord une couche de TiO₂ d'une épaisseur de 1 nm sur le substrat n-Si, suivie d'une sérigraphie de l'électrode grille en Ag. Ensuite, un autre TiO₂ de 2 nm d'épaisseur a été enduit par centrifugation sur le dessus de la grille Ag / TiO₂ / n-Si. Finalement, l'Al a été évaporé à partir de toute la zone de la face arrière pour former l'électrode cathodique.

Fig. 1



(a) Structure moléculaire de PEDOT: PSS, (b) schéma de PEDOT: cellules solaires à double hétérojonction PSS / n-Si / TiO₂ avec des couches simples et doubles de TiO₂ comme HBL.

2.2 Caractérisations

Les propriétés de jonction à l'interface TiO₂ / n-Si ont été évaluées en utilisant la microscopie à force atomique (AFM), la spectroscopie de photoémission aux rayons X (XPS), la durée de vie effective des porteurs minoritaires τ_{eff} et l'électroluminescence dans la cellule solaire sous injection de courant d'obscurité dans le condition de polarisation directe.

2.2.1 Etude XPS

Mesures XPS ont été effectuées pour le Ti^{du} pic avec une énergie de liaison de 458,6 eV pour 2p_{3/2} et 464,7 eV pour 2p_{1/2} et le Si (2p) région de la ligne à 99,4 ± 0,3 eV en utilisant un monochromatique Al K_{de} rayonnement de $h\nu = 1486,6$ eV [AXIS-Nova (Kratos Analytical)]. La formation de sous-oxydes à l'interface TiO₂ / n-Si a été examinée par déconvolution incluant des complexes métalliques Si⁺, Si²⁺, Si³⁺ et Si⁴⁺ dans les régions 100-104 eV. L'effet de la métallisation de l'Al sur l'interface Al / TiO₂ / n-Si a été examiné en déposant de l'Al de quelques nanomètres d'épaisseur par évaporation.

2.2.2 Durée de vie du transporteur

Les couches PEDOT: PSS et TiO₂ sur des substrats c-Si de type n-Si n (1-5 Ω · cm) ont été examinées à travers une carte 2D des mesures de τ_{eff} de la durée de vie des porteurs minoritaires (SLT-1410A, KOBELCO). TiO₂ couches avec des épaisseurs différentes ont été appliquée par centrifugation en ajustant la concentration de la solution et ensuite recuite thermiquement à 140 ° C pendant 10 min avant la mesure de la durée de vie.

2.2.3 Caractérisation des cellules solaires

Les caractéristiques densité-tension de courant ($J - V$) ont été mesurées dans l'obscurité et sous exposition avec une lumière solaire simulée de AM1.5G, 100 mW / cm² [Bunkoukeiki (CEP-25BX)]. La zone d'exposition à la lumière a été masquée à l'aide d'un masque d'ombre pour éviter la fuite de lumière. Les performances photovoltaïques ont été étudiées à l'aide d'un appareil de 2 × 2 cm² sous simulation d'une exposition solaire AM1.5 à 25 ° C. La densité de courant de court-circuit J_{sc} , la tension en circuit ouvert V_{oc} , le facteur de remplissage FF et l'efficacité de conversion de puissance PCE ont été déterminées à partir de la densité-tension du photocourant ($J - V$) courbes. L'efficacité quantique externe EQE a également été mesurée avec et sans exposition à la lumière de biais. La carte bidimensionnelle (2D) de l'EQE à 1000 nm a également été caractérisée pour des dispositifs d'une surface de 2 × 2 cm² à l'aide d'un Lasertec: MP Series.

2.2.4 Mesure de T_{rr} de récupération inverse transitoire

T_{rr} , à la différence μ -PCD, n'est nécessaire d'utiliser les deux côtés des symétriques TiO_2 échantillons revêtus pour déterminer S . Par conséquent, il peut être utilisé pour déterminer la vitesse de recombinaison de la structure complète du dispositif de cellule solaire. La figure 2 présente (a) le schéma électrique utilisé pour l'étude T_{rr} et (b) le courant de sortie attendu. Ici, V_{ts} est la source de polarisation transitoire, R_L (100 Ω) est la résistance de charge externe, la zone de ligne pointillée bleue représente le circuit équivalent simple du dispositif de cellule solaire, et R_s et R_{sh} sont des séries et une résistance de shunt équivalentes. Les détails de la mesure T_{rr} sont décrits dans les références [35, 36]. Tout d'abord, un V_{ts} positif supérieur au potentiel intégré est appliqué au circuit pour atteindre le niveau de courant continu continu I_D et I_{sh} . Ensuite, une polarisation inverse est appliquée à l'appareil testé et le temps de récupération à un état stable a été surveillé en combinant une onde rectangulaire programmable (modèle WW2074 de Tabor Electronics) de 1 KHz et l'oscilloscope à stockage numérique (modèle DSO7054A d'Agilent Technologies) signal. Le montant de la charge stockée dans le vac peut être calculé par:

$$Q = It_s \quad (1)$$

où, I est le courant de récupération maximal et t_s est la durée de stockage. En supposant que $I_{Si/HBL}(t_{Si/HBL})$ et $I_{Si}(t_{Si})$ sont les courants transitoires (temps de stockage) pour les appareils avec et sans HBL, alors le rapport de charge de stockage $Q_{rapport}$ peut être déterminé par:

$$Q_{ratio} = \frac{Q_{Si/HBL}}{Q_{Si}} = \frac{I_{Si/HBL}t_{Si/HBL}}{I_{Si}t_{Si}} \quad (2)$$

$$\text{If, } I_{Si/HBL} \approx I_{Si}, \quad Q_{ratio} = \frac{t_{Si/HBL}}{t_{Si}} \quad (3)$$

Le rapport Q peut être obtenu à partir du coefficient de diffusion D_p et de la vitesse de recombinaison S comme suit:

$$Q_{ratio} = 2 \frac{D_p}{WS} + 1$$

$$S = \frac{2D_p}{W(Q_{ratio} - 1)}. \quad (4)$$

Ainsi, S peut être calculé en déterminant le rapport Q sans calculer la quantité exacte de densité de trous en excès et l'effet de la recombinaison en vac. La valeur τ_s a également été calculée par μ -PCD en utilisant l'équation bien connue suivante pour confirmer la fiabilité de la valeur S [37]:

$$S = \frac{WD\pi^2}{2(D\pi^2\tau_s - W^2)}, \quad (5)$$

où W est l'épaisseur du substrat Si et D est la constante de diffusion des porteurs minoritaires de n-Si.

Fig. 2



Schémas de (a) le schéma de circuit et (b) T_{rr} courant pour les appareils avec et sans HBL.

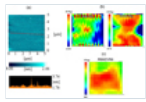
3. Résultats et discussion

3.1 TiO_2 traité en solution

La figure 3a montre l'image AFM et le profil de ligne de TiO_2 de 2 nm d'épaisseur revêtu du précurseur avec une concentration de 1 mg / ml sur une tranche de n-Si. La valeur RMS était de 0,215 nm dans la zone de $5 \times 5 \mu\text{m}^2$, valeur presque identique à celle de l'ALD. Sur la figure 3b, la carte bidimensionnelle de τ_s est représentée pour TiO_2 de 2 et 10 nm d'épaisseur. Une valeur de durée de vie moyenne environ 4 fois plus

élevée a été observée pour le dispositif revêtu de TiO_2 , épaisseur ~ 2 nm par rapport au Si nu ($\sim 7 \mu\text{s}$), avec une légère non-uniformité, cette non-uniformité peut provenir d'une exposition partielle de la surface de Si à l'air grâce à la couche ultra-fine de TiO_2 . Le TiO_2 de ~ 10 nm d'épaisseur. L'échantillon revêtu présente une valeur de durée de vie comparativement uniforme et 5 à 6 fois plus élevée par rapport au silicium nu. Bien que ces valeurs de durée de vie soient bien inférieures à la valeur PEDOT: PSS ($\sim 230 \mu\text{s}$) (Fig. 3c), ce qui implique que le niveau de passivation était pire par rapport à l'interface d'anode PEDOT: PSS / n-Si. Ainsi, les propriétés de recombinaison de la structure PEDOT: PSS / n-Si / TiO_2 sont principalement dominées par l'interface cathode (Si / TiO_2).

Fig. 3



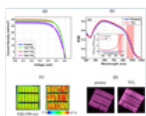
(a) Image AFM et profil de ligne pour TiO_2 , épaisseur 2 nm sur une tranche de n-Si.
 (b) Carte 2D de τ_s pour TiO_2 de 2 et 10 nm d'épaisseur enduit de n-Si sur les surfaces avant et inférieure. (c) Carte 2D de τ_s pour PEDOT de 80 nm d'épaisseur: PSS.

3.2 Performance photovoltaïque des cellules solaires

La figure 4 a montre les caractéristiques J - V de PEDOT: cellules solaires à hétérojonction PSS / n-Si avec différentes épaisseurs TiO_2 HBL de 1, 2 et 3 nm, ainsi que celle d'un dispositif vierge (sans TiO_2) sous AM1. Exposition à la lumière solaire simulée 5G. Les paramètres des cellules solaires pour les appareils correspondants sont résumés dans le tableau 1. J_{sc} augmenté de 27,53 à 30 mA / cm^2 avec une augmentation de FF et V_{oc} pour des épaisseurs de TiO_2 de 1 et 2 nm. Cela est dû à l'abaissement de la fonction de travail d'Al en insérant un TiO_2 couche ainsi que la capacité améliorée de blocage des trous à l'interface cathodique. Un grand nombre de trous diffusent vers l'arrière à l'intérieur du Si massif. En conséquence, le PCE est passé de 11,23% pour le dispositif Pristine à 13,08% pour un dispositif TiO_2 HBL sur un substrat simple avec une épaisseur de TiO_2 d'environ 2 nm.

La figure 4b présente l'EQE pour PEDOT: dispositifs PSS / n-Si avec et sans une double couche TiO_2 HBL de 2 nm d'épaisseur. L'encart montre l'EQE normalisé de l'appareil correspondant. L'EQE au niveau de la région d'interface n-Si / cathode correspondant à une longueur d'onde de ~ 1000 nm a augmenté davantage pour le dispositif inséré en TiO_2 double couche que pour le dispositif monocouche. Ces découvertes proviennent de la réduction de la recombinaison des porteurs à l'interface Si / cathode. De plus, les images d'électroluminescence dans la région infrarouge lointaine en raison de l'injection de courant d'obscurité à partir de l'interface cathodique pour les appareils sont comparées (Fig. 4c). L'image d'émission est plus intense pour l'appareil avec un TiO_2 HBL que celui sans insert HBL, suggérant l'augmentation de l'injection d'électrons de la cathode par un TiO_2 HBL.

Fig. 4



(a) Courbe J - V du PEDOT: cellules solaires PSS / n-Si TiO_2 HBL avec différentes épaisseurs de couche. (b) EQE pour les dispositifs avec et sans HBL TiO_2 , épaisseur 2 nm. L'encart montre $EQE_{\text{TiO}_2} / EQE_{\text{vierge}}$. (c) carte 2D de l'EQE à 1000 nm et (d) images d'émission EL infrarouge lointain pour les dispositifs avec et sans TiO_2 HBL de 2 nm d'épaisseur.

Tableau 1 Paramètres des cellules solaires, J_{sc} , V_{oc} , FF et PCE de PEDOT: cellules solaires PSS / n-Si avec des HBL TiO_2 de différentes épaisseurs.

3.3 Propriété de jonction à l' interface cathodique Si / TiO_2 surveillée par caractérisation T_{rr}

La figure 5 montre le courant T_{rr} d'une cellule solaire PEDOT: PSS / n-Si / Ag (Al) avec différents niveaux de courant d'injection (direct). Le courant T_{rr} a augmenté avec l'augmentation du niveau de courant direct avec un temps de récupération prolongé. En effet, le nombre de porteurs minoritaires diffusés (trou) expulsés de PEDOT: PSS vers le n-Si en vrac est plus élevé pour des courants d'injection plus élevés. Ainsi, l'étude T_{rr} surveille le porteur minoritaire diffusé (de PEDOT: PSS) (trou) à l'intérieur du n-Si massif bloqué à l'interface cathodique.

La figure 6 b montre le courant T_{rr} de PEDOT: cellules solaires à hétérojonction PSS / n-Si avec TiO_2 monocouche et double couche de 2 nm d'épaisseur, comme le montre la figure 1 b. Le temps de stockage des trous est respectivement de ~2 et 2,8 fois plus long pour les dispositifs à une et deux couches, par rapport au dispositif vierge sans couche de TiO_2 . La quantité de charge stockée est calculée en multipliant le t_s correspondant par le courant inverse transitoire maximal. Un S de ~ 750 cm / s est obtenu pour le dispositif inséré en TiO_2 monocouche, dans lequel une zone arrière de 15,5% de la surface Si est en contact direct avec le métal (Ag). Cette valeur est en bon accord avec la valeur S mesurée par μ -PCD conventionnel. Une valeur S de -375 cm / s a été obtenue pour le dispositif avec un revêtement alternant des couches de TiO_2 (Fig. 1 b). Pour comprendre la fiabilité de cette valeur obtenue à partir du T_{rr} , une mesure de μ -PCD a été réalisée à l'aide d'échantillons de n-Si revêtus PEDOT: PSS et TiO_2 sur les côtés avant et arrière du substrat c-Si. Les S de ~700 cm / s et ~60 cm / s ont été obtenus des deux côtés des substrats revêtus de TiO_2 (2 nm) et PEDOT: PSS (80 nm) n-Si (1 à 5 Ω cm) respectivement, qui suggèrent que les performances photovoltaïques sont largement déterminées par l'interface cathodique.

Cependant, ces valeurs S des dispositifs TiO_2 HBL sont toujours plus élevées que pour les dispositifs PE-CVD SiN_x ou a-Si. En effet, le TiO_2 plus mince de ~ 2 nm réagit avec le TiO_2 sous-jacent pendant la métallisation de l'Al. Les figures 7 a et 7 b montrent la région d'énergie de base XPS Ti (2p) de TiO_2 sur la n-Si avant et après Al métallisation. Par rapport au spectre du TiO_2 vierge, deux pics supplémentaires à 457,3 eV et 463 eV sont apparus, qui provenaient de l'état d'oxydation Ti^{3+} . Ces résultats suggèrent que TiO_2 réagissent avec l'Al pendant l'évaporation et forme un oxyde complexe Ti-O-Al, qui dégrade la capacité de blocage des trous et la qualité de passivation de la couche de TiO_2 .

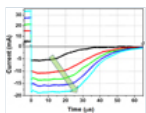


Fig. 5 Courant T_{rr} pour un PEDOT: cellule solaire à hétérojonction PSS / n-Si avec différents courants directs.

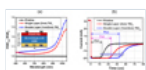


Fig. 6 (a) EQE normalisé, $EQE_{TiO_2} / EQE_{vierge}$ et (b) Profils de courant T_{rr} de PEDOT: cellules solaires à hétérojonction PSS / n-Si avec une et double couche de TiO_2 HBL de 2 nm d'épaisseur, y compris le temps de récupération pour chaque appareil.

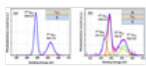


Fig. 7 Région d'énergie de coeur XPS Ti (2p) de TiO_2 traité en solution sur n-Si (a) avant et (b) après métallisation d'Al.

4 Résumé et conclusions

Les propriétés de jonction à l'interface TiO_2 / n-Si traitée en solution ont été étudiées à l'aide de cellules solaires à hétérojonction PEDOT: PSS / n-Si. Un PCE de 13,08% a été obtenue pour PEDOT: PSS / n-Si / TiO_2 doubles cellules solaires à hétérojonction en ajustant le TiO_2 d'épaisseur de couche à l'extrémité N-Si / Ag Interface avec l'augmentation J_{sc} et V_{oc} . Ces découvertes proviennent de la collecte efficace des porteurs à

l'interface n-Si / cathode, bien que la recombinaison de surface à l'interface cathode domine les performances photovoltaïques. Trr fournit la valeur S en utilisant les structures du dispositif de cellule solaire sans avoir besoin d'examiner les deux côtés du c-Si revêtu de TiO_2 .

Déclaration de contribution de l'auteur

Tous les auteurs ont contribué à parts égales à ce travail.

Remerciements

Cette étude a été soutenue en partie par le ministère de l'Éducation, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie (MEXT) et la Fondation de recherche industrielle et économique Takahashi.

Les références

1. AS Erickson, A. Zohar, D. Cahen, Adv. Ener. Mater. **4**, 1301724 (2014) [[Google Scholar](#)]
2. S. Jäckle, M. Mattiza, M. Liebhaber, G. Brönstrup, M. Rommel, K. Lips, S. Christiansen, Sci. Rep. **5**, 13008 (2015) [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
3. ATM Saiful Islam, R. Ishikawa, H. Shirai, *Nanomatériaux avancés pour cellules solaires et diodes électroluminescentes*, 1ère éd. (Elsevier, 2019), pp. 97-117 [[Google Scholar](#)]
4. TG Allen, J. Bullock, Q. Jeangros, C. Samundsett, Y. Wan, J. Cui, A. Hessler-Wyser, S. De Wolf, A. Javey, A. Cuevas, Adv. Energy Mater. **7**, 1602606 (2017) [[Google Scholar](#)]
5. Y. Wan, C. Samundsett, D. Yan, T. Allen, J. Peng, J. Cui, X. Zhang, J. Bullock, A. Cuevas, Appl. Phys. Lett. **109**, 113901 (2016) [[Google Scholar](#)]
6. PL Janega, J. McCaffrey, D. Landheer, M. Buchanan, M. Denhoff, D. Mitchel, Appl. Phys. Lett. **53**, 2056 (1988) [[Google Scholar](#)]
7. Y. Wan, C. Samundsett, J. Bullock, M. Hettick, T. Allen, D. Yan, J. Peng, Y. Wu, J. Cui, A. Javey, A. Cuevas, Adv. Energy Mater. **7**, 1601863 (2017) [[Google Scholar](#)]
8. X. Yang, P. Zheng, Q. Bi, K. Weber, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **150**, 32 (2016) [[Google Scholar](#)]
9. KA Nagamatsu, S. Avasthi, G. Sahasrabudhe, G. Man, J. Jhaveri, AH Berg, J. Schwartz, A. Kahn, S. Wagner, JC Sturm, Appl. Phys. Lett. **106**, 123906 (2015) [[Google Scholar](#)]
10. S. Avasthi, WE McClain, G. Man, A. Kahn, J. Schwartz, JC Sturm, Appl. Phys. Lett. **102**, 203901 (2013) [[Google Scholar](#)]
11. J. He, Z. Ling, P. Gao, J. Ye, Sol. RRL **1**, 1700154 (2017) [[Google Scholar](#)]
12. J. Jhaveri, KA Nagamatsu, AH Berg, G. Man, G. Sahasrabudhe, S. Wagner, J. Schwartz, A. Kahn, JC Sturm, en *2015 IEEE 42nd Photovolt. Spec. Conf. PVSC* (IEEE, 2015), <https://doi.org/10.1109/PVSC.2015.7356054> [[Google Scholar](#)]
13. PJ Cameron, LM Peter, J. Phys. Chem. B **107**, 14394 (2003) [[Google Scholar](#)]
14. J. Hossain, K. Kasahara, D. Harada, ATM Saiful Islam, R. Ishikawa, K. Ueno, T. Hanajiri, Y. Nakajima, Y. Fujii, M. Tokuda, H. Shirai, J. Appl. Phys. **122**, 55101 (2017) [[Google Scholar](#)]
15. ATMS Islam, ME Karim, A. Rajib, Y. Nasuno, T. Ukai, S. Kurosu, M. Tokuda, Y. Fujii, Y. Nakajima, T. Hanajiri, H. Shirai, Appl. Phys. Lett. **114**, 193901 (2019) [[Google Scholar](#)]
16. Y. Zhang, W. Cui, Y. Zhu, F. Zu, L. Liao, ST Lee, B. Sun, Energy Environ. Sci. **8**, 297 (2015) [[Google Scholar](#)]
17. W. Wu, J. Bao, X. Jia, D. Liu, L. Cai, B. Liu, J. Song, H. Shen, Phys. Statut Solidi - Rapid Res. Lett. **10**, 662 (2016) [[Google Scholar](#)]
18. J. Bullock, M. Hettick, J. Geissbühler, AJ Ong, T. Allen, CM Sutter-Fella, T. Chen, H. Ota, EW Schaler, S. De Wolf, C. Ballif, A. Cuevas, A. Javey, Nat. Energy **1**, 15031 (2016) [[Google Scholar](#)]
19. J. Bullock, P. Zheng, Q. Jeangros, M. Tosun, M. Hettick, CM Sutter-Fella, Y. Wan, T. Allen, D. Yan, D. Macdonald, S. De Wolf, A. Hessler-Wyser, A. Cuevas, A. Javey, Adv. Energy Mater. **6**, 1600241 (2016) [[Google Scholar](#)]
20. Y. Wan, C. Samundsett, J. Bullock, T. Allen, M. Hettick, D. Yan, P. Zheng, X. Zhang, J. Cui, J. McKeon, A. Javey, A. Cuevas, ACS Appl. Mater. Interfaces **8**, 14671 (2016) [[Google Scholar](#)]
21. HJ Frenck, W. Kulisch, M. Kuhr, R. Kassing, Thin Solid Films **201**, 327 (1991) [[Google Scholar](#)]
22. WG Lee, SI Woo, JC Kim, SH Choi, KH Oh, Thin Solid Films **237**, 105 (1994) [[Google Scholar](#)]
23. W. Yang, CA Wolden, Thin Solid Films **515**, 1708 (2006) [[Google Scholar](#)]
24. D. Li, M. Carette, A. Granier, JP Landesman, A. Goulet, Appl. Le surf. Sci. **283**, 234 (2013) [[Google Scholar](#)]

25. KL Ou, D. Tadytin, K. Xerxes Steirer, D. Placencia, M. Nguyen, P. Lee, NR Armstrong, J. Mater. Chem. A **1** , 6794 (2013) [\[Google Scholar\]](#)
26. MF Brunella, M. V Diamanti, MP Pedefferri, F. Di Fonzo, CS Casari, AL Bassi, Thin Solid Films **515** , 6309 (2007) [\[Google Scholar\]](#)
27. R. Methaapanon, SF Bent, J. Phys. Chem. C **114** , 10498 (2010) [\[Google Scholar\]](#)
28. J. Dendooven, S. Pulinthanathu Sree, K. De Keyser, D. Deduytsche, JA Martens, KF Ludwig, C. Detavernier, J. Phys. Chem. C **115** , 6605 (2011) [\[Google Scholar\]](#)
29. S. McDonnell, RC Longo, O. Seitz, JB Ballard, G. Mordi, D. Dick, JHG Owen, JN Randall, J. Kim, YJ Chabal, K. Cho, RM Wallace, J. Phys. Chem. C **117** , 20250 (2013) [\[Google Scholar\]](#)
30. L. Tian, A. Soum-Glaude, F. Volpi, L. Salvo, G. Berthomé, S. Coindeau, A. Mantoux, R. Boichot, S. Lay, V. Brizé, E. Blanquet, G. Giusti, D. Bellet, J. Vac. Sci. Technol. A **33** , 01A141 (2015) [\[Google Scholar\]](#)
31. J. Kischkat, S. Peters, B. Gruska, M. Semtsiv, M. Chashnikova, M. Klinkmüller, O. Fedosenko, S. Machulik, A. Aleksandrova, G. Monastyrskiy, Y. Flores, WT Masselink, Appl. Opter. **51** , 6789 (2012) [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[Google Scholar\]](#)
32. LL. Yang, Y.-S. Lai, JS Chen, PH Tsai, CL Chen, CJ Chang, J. Mater. Res. **20** , 3141 (2005) [\[Google Scholar\]](#)
33. B. Hoex, J. Schmidt, P. Pohl, MCM van de Sanden, WMM Kessels, J. Appl. Phys. **104** , 044903 (2008) [\[Google Scholar\]](#)
34. DAH Hanaor, I. Chironi, I. Karatchevtseva, G. Triani, CC Sorrell, Adv. Appl. Ceram. **111** , 149 (2012) [\[Google Scholar\]](#)
35. KA Nagamatsu, S. Avashi, G. Sahasrabudhe, G. Man, JJ haveri, AH Berg, J. Schwartz, A. Kahn, S. Wagner, JC Sturm, Appl. Phys. Lett. **106** , 123906 (2015) [\[Google Scholar\]](#)
36. AH Berg, KA Nagamatsu, JC Sturm, IEEE Trans. Electr. Dev. **64** (2017) [\[Google Scholar\]](#)
37. DK Schroder, dans *Semiconductor Materilas and Device Charactrization* (John Wiley & Sons, NewYork, 1990), p. 359 [\[Google Scholar\]](#)

Citez cet article comme suit: Md. Enamul Karim, ATM Saiful Islam, Yuki Nasuno, Abdul Kuddus, Ryo Ishikawa, Hajime Shirai, TiO₂ traité en solution comme couche de blocage de trous dans PEDOT: cellules solaires à hétérojonction PSS / n-Si, EPJ Photovoltaics **11** , 7 (2020)

Tous les tableaux

Tableau 1 Paramètres des cellules solaires, J_{sc} , V_{oc} , FF et PCE de PEDOT: cellules solaires PSS / n-Si avec des HBL TiO₂ de différentes épaisseurs.

[↑ Dans le texte](#)

Tous les chiffres

Fig. 1



(a) Structure moléculaire de PEDOT: PSS, (b) schéma de PEDOT: cellules solaires à double hétérojonction PSS / n-Si / TiO₂ avec des couches simples et doubles de TiO₂ comme HBL.

[↑ Dans le texte](#)

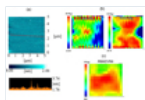
Fig. 2



Schémas de (a) le schéma de circuit et (b) T_{rr} courant pour les appareils avec et sans HBL.

[↑ Dans le texte](#)

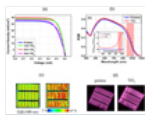
Fig. 3



(a) Image AFM et profil de ligne pour TiO_2 d'épaisseur 2 nm sur une tranche de n-Si.
 (b) Carte 2D de τ_s pour TiO_2 de 2 et 10 nm d'épaisseur enduit de n-Si sur les surfaces avant et inférieure. (c) Carte 2D de τ_s pour PEDOT de 80 nm d'épaisseur: PSS.

[↑ Dans le texte](#)

Fig. 4



(a) Courbe $J - V$ du PEDOT: cellules solaires PSS / n-Si TiO_2 HBL avec différentes épaisseurs de couche. (b) EQE pour les dispositifs avec et sans HBL TiO_2 d'épaisseur 2 nm. L'encart montre $\text{EQE}_{\text{TiO}_2} / \text{EQE}_{\text{vierge}}$. (c) carte 2D de l'EQE à 1000 nm et (d) images d'émission EL infrarouge lointain pour les dispositifs avec et sans TiO_2 HBL de 2 nm d'épaisseur.

[↑ Dans le texte](#)

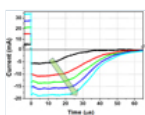
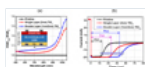


Fig. 5

Courant T_{rr} pour un PEDOT: cellule solaire à hétérojonction PSS / n-Si avec différents courants directs.

[↑ Dans le texte](#)

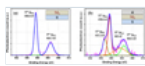
Fig. 6



(a) EQE normalisé, $\text{EQE}_{\text{TiO}_2} / \text{EQE}_{\text{vierge}}$ et (b) Profils de courant T_{rr} de PEDOT: cellules solaires à hétérojonction PSS / n-Si avec une et double couche de TiO_2 HBL de 2 nm d'épaisseur, y compris le temps de récupération pour chaque appareil.

[↑ Dans le texte](#)

Fig. 7



Région d'énergie de coeur XPS Ti (2p) de TiO_2 traité en solution sur n-Si (a) avant et (b) après métallisation d'Al.

[↑ Dans le texte](#)

Nous recommandons

Analyse d'une cellule solaire à homojonction p + -n-n + à couche mince poly-Si et d'une cellule solaire à hétérojonction avec et sans couche mince $\mu\text{-Si}$ à l'interface des couches a-Si et poly-Si
 HL Hwang et al., EPJ Applied Physics, 2009

Une étude de modélisation de la performance des cellules solaires à jonction P / N et à hétérojonction diffusées conventionnelles à différentes températures
 S. Chakraborty, EPJ Photovolt., 2013

Faisabilité de l'utilisation de couches minces de silicium cristallin cultivées par épitaxie à 165 ° C dans des cellules solaires: étude de simulation informatique
 S. Chakraborty, EPJ Photovolt., 2013

Mesures de résistance et de durée de vie de cellules solaires polymères utilisant des couches d'injection de trous de poly [3,4-éthylènedioxythiophène]: poly [styrènesulfonate] dopés au glycérol
 Emma Lewis, EPJ Photovolt., 2014

Optimisation des performances des cellules solaires en pérovskite à base de CsPbI3 via le dopage d'une couche de transport d'électrons ZnO couplée à l'ingénierie d'interface
 Man Yue et al., Nano-Micro Letters, 2019

Hétérojonctions nanotubes de carbone / silicium pour applications photovoltaïques
 Hu et al., Nano Materials Science, 2019

Cellules solaires en pérovskite à hétérojonction en vrac incorporées avec des nanoparticules de TiO_x traitées en solution comme accepteurs d'électrons
 Zhu et al., Chinese Chemical Letters, 2020

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

Préparation des nanofeuilles WS_2 et leur application pour la couche de transport de trous dans les cellules solaires en pérovskite

Impact de la stabilité thermique du poly (3,4-éthylènedioxythiophène): poly (4-styrènesulfonate) utilisé comme couche tampon dans les cellules solaires organiques

Minh Trung Dang¹ et al., EPJ Applied Physics, 2013

WANG Hong-hang et al., Chinese Journal of Luminescence, 2020

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](#)