



Tous les numéros > Volume 11 (2020) > EPJ Photovolt., 11 (2020) 2 > 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	2
Nombre de pages)	8
EST CE QUE JE	https://doi.org/10.1051/epjpv/2019011
Publié en ligne	04 février 2020

EPJ Photovoltaïque 11, 2 (2020)

<https://doi.org/10.1051/epjpv/2019011>

Article régulier

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

Derese Desta¹, Rita Rizzoli², Caterina Summonte², Rui N.Pereira¹, Arne Nylandsted Larsen³, Peter Balling³ et Sanjay K. Ram^{3,4*}

¹ Département de physique et I3N, Université d'Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

² IMM-Consiglio Nazionale delle Ricerche, via Gobetti 101, 40129 Bologne, Italie

³ Département de physique et d'astronomie - iNANO, Université d'Aarhus, Gustav Wiedes Vej 14, 8000 Aarhus C, Danemark

⁴ Département de physique, Amrita School of Arts and Sciences, Amrita Vishwa Vidyapeetham, Kollam 690525, Kerala, Inde

* e-mail: sanjayk.ram@gmail.com

Reçu: 1 octobre 2019 Reçu sous forme définitive: 19 novembre 2019 Accepté: 17 décembre 2019 Publié en ligne: 4 février 2020

Abstrait

L'article présente une conception de rétroreflecteur à diffusion de lumière enterrée (BLIS) à base de nanoparticules réalisée grâce à une technique de nanofabrication simplifiée à des fins de gestion de la lumière dans les cellules solaires. La structure BLIS se compose d'un rétroreflecteur plat en argent avec une bicouche de diffusion de la lumière superposée qui est constituée d'un TiO₂ couche de nanoparticules

diélectriques avec des cavités pyramidales inversées de l'ordre du micron, enterrée sous une couche de nanoparticules de silicium à sommet plat. Les propriétés optiques de ce rétroreflecteur BLIS montrent une large bande large et une large distribution angulaire de la diffusion de la lumière diffuse. Il a été démontré que la diffusion efficace de la lumière par le rétroreflecteur à pyramide inversée enterré améliore efficacement la densité de courant de court-circuit et l'efficacité des cellules solaires en silicium amorphe à pinçement sus-jacentes jusqu'à 14% et 17,5%, respectivement, par rapport à l'appartement de référence.

Table des matières

Article

- Abstrait
- HTML complet
- PDF (944,7 Ko)
- ePUB (3,101 Mo)
- Les références
- Matériel complémentaire

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

Vers un rendement stabilisé de 12% dans les cellules solaires en silicium polymorphe à jonction unique: développements expérimentaux et prédictions de modèles
EPJ Photovoltaics 7, 70302 (2016)

Électrodes frontales hautement transparentes avec doigts métalliques pour cellules solaires en silicium à couche mince à broches
EPJ Photovoltaics 6, 60501 (2015)

Silicon-Light: un projet européen visant des cellules solaires en silicium à couche mince à haut rendement sur feuille
EPJ Photovoltaics 5, 55203 (2014)

Plus

Bookmarking



- Services aux lecteurs
- Alerte email

Haut
Abstrait

cellules solaires. Une couche de TiO_2 Les nanoparticules avec des microstructures pyramidales inversées exposées présentent une diffusion de la lumière équivalente mais des facteurs de remplissage médiocres dans les cellules solaires, ce qui indique que l'interface de croissance lisse sus-jacente dans le rétro-rélecteur BLiS aide à maintenir un bon facteur de remplissage. L'étude démontre l'avantage de la séparation spatiale des couches de piégeage de la lumière et de croissance des semi-conducteurs dans le rétro-rélecteur photovoltaïque sans sacrifier l'avantage optique.

Mots clés: pyramides inversées / gestion de la lumière / photovoltaïque / cellules solaires à couches minces / nanoparticules / nanomoulage

© D. Desta 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

Les avantages des cellules solaires à couches minces de silicium, tels que la faible consommation de matière première et la possibilité de fabrication sur une grande surface, sont contrebalancés par l'absorption réduite de la lumière incidente dans la couche mince d'absorbeur [1, 2]. Comme nous visons des cellules solaires plus minces, les stratégies de piégeage de la lumière deviennent cruciales pour compenser la perte d'efficacité de conversion d'énergie photovoltaïque résultant des pertes de photons [3-5]. Des interfaces et des surfaces texturées ont été exploitées dans des cellules solaires en silicium pour piéger la lumière nanophotonique et plasmonique [6-8]. Cependant, le succès d'un système efficace de collecte de photons basé sur n'importe quelle configuration de structures optiques dépend finalement des performances de la cellule solaire fabriquée sur ces structures, et souvent un compromis est impliqué dans l'équilibre des deux aspects.

Parmi les divers types de structures étudiées pour leurs performances de piégeage de la lumière, les nano- et microstructures pyramidales verticales et pyramidales inversées sont largement étudiées dans les cellules solaires en silicium cristallin [9-11], mais moins dans le contexte des cellules solaires à couches minces de silicium [12, 13]. Dans ces études, sur des cellules solaires en silicium cristallin, diverses études expérimentales et de modélisation ont mis en évidence les différents effets anti-reflet bénéfiques des structures pyramidales et pyramidales inversées sur la surface supérieure [14, 15]. Certaines études ont montré que les structures pyramidales inversées périodiques de la face avant surpassent les structures pyramidales en améliorant l'absorption de la lumière dans les cellules solaires en silicium cristallin [14]. Les pyramides inversées à l'échelle nanométrique avec une configuration appropriée sur une tranche de silicium se sont révélées utiles pour piéger la lumière dans des cellules solaires ultra-minces en c-Si [16] et une cellule solaire à jonction unique en silicium amorphe (a-Si: H) [13]. Néanmoins, il est difficile d'incorporer des structures pyramidales inversées à l'échelle du micron (ou des structures comme des piliers ou des pyramides) [15, 17, 18] dans les rétro-rélecteurs sans nuire à la croissance de couches minces de semi-conducteurs conformes et conduisant ainsi à une détérioration des propriétés des cellules solaires [12, 19-24].

Outre la manipulation de la lumière en utilisant différentes configurations de nano- ou microstructures, récemment, certaines études ont théorisé l'intérêt d'exploiter les indices de réfraction des matériaux pour manipuler la lumière afin d'améliorer l'absorption optique dans les cellules solaires [7, 8, 25, 26]. Les nanoparticules diélectriques, en raison de leurs propriétés optiques et structurelles uniques, sont en train de devenir des éléments constitutifs hautement manipulables pour fabriquer des nano- et des microstructures [27-29]. Nous avons déjà démontré un rétro-rélecteur de nano-cratère piégeant la lumière fabriqué par moulage de nanoparticules de TiO_2 (TiO₂-NP) [30], et récemment nous avons présenté, un rétro-rélecteur à diffusion de lumière enterrée (BLiS) utilisant TiO_2 -NPs moulé dans des microstructures pyramidales enterrées dans une couche supérieure plate de nanoparticules de silicium (Si-NP) [23]. Les nanoparticules de TiO_2 sont transparentes avec un faible indice de réfraction tandis que les Si-NP ont un indice de réfraction plus élevé et sont optiquement similaires au matériau a-Si: H de la cellule solaire qui est fabriquée sur le réflecteur arrière.

L'application de conceptions optiques théoriquement prometteuses de rétro-rélecteurs dans des dispositifs à cellules solaires pose le défi d'une optimisation poussée des conditions de croissance pour concilier la qualité des cellules solaires avec la rugosité du substrat. Ce problème de faisabilité, bien qu'il puisse être surmonté en laboratoire, peut s'avérer prohibitif pour étendre la conception à la fabrication industrielle. Les structures BLiS que nous démontrons atténuent l'effet néfaste de la rugosité morphologique créée par la texturation, à

- [1. Introduction](#)
- [2 Expérimental et ...](#)
- [3. Résultats et discussion](#)
- [4. Conclusion](#)
- [Déclaration de contribution de l'auteur](#)
- [Remerciements](#)
- [Les références](#)
- [Matériel complémentaire](#)
- [Liste des tableaux](#)
- [Liste des figures](#)

savoir la formation de fissures et de zones poreuses dans les couches de silicium avec une détérioration de l'efficacité et de la stabilité des cellules solaires. En outre, l'approche BLIS ne nécessite pas d'étapes de traitement utilisant la lithographie et la gravure qui peuvent entraîner des problèmes d'évolutivité [31, 32].

Dans ce travail, nous utilisons l'approche BLIS pour appliquer des structures de manipulation de la lumière de la taille du micron qui sont généralement considérées comme incompatibles avec de bonnes performances électriques, pour la collecte de la lumière dans les cellules solaires à couches minces. Une technique de nanofabrication simplifiée utilisant des nanoparticules est utilisée pour créer une bicouche de gestion de la lumière constituée d'une couche de TiO_2 -NP contenant des microcavités de forme pyramidale inversée, qui sont remplies de Si-NP avec la surface supérieure interfaciale de la couche de Si-NP être plat. L'architecture de conception de cet agencement est schématisée sur la figure 1.

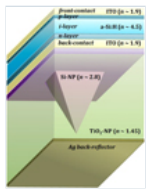


Fig. 1

Illustration schématique du rétro-réflecteur BLIS pour cellules solaires à couche mince Nip Si. La couche de TiO_2 -NP sur le réflecteur arrière en argent plan a des microcavités de forme pyramidale inversée, qui sont en outre recouvertes par une couche de Si-NP à sommet plat.

2 Détails expérimentaux et de modélisation

Trois types de substrats ont été utilisés pour les études consistant en trois types différents de rétro-réflecteurs: les pyramides planes, inversées et les pyramides inversées enterrées. Pour le rétro-réflecteur plan, des substrats de verre pré-nettoyés et cuits ont été enduits d'oxyde de zinc dopé Ti, Ag et Al (AZO) pour créer le verre / Ti (10 nm) / Ag (120 nm) / AZO (30 nm) pile de rétro-réflecteurs. Les couches métalliques ont été déposées en utilisant une technique d'évaporation par faisceau d'électrons et AZO a été pulvérisé en utilisant un système AJA ATC Orion rf-magnétron. Le substrat avec le réflecteur arrière plan est désigné comme le réflecteur arrière à surface plane (Flat-BR), sur lequel la cellule solaire de référence a été déposée.

Pour créer le rétro-réflecteur pyramidal inversé (IP-BR) et les substrats du rétro-réflecteur pyramidal inversé enterré (BIP-BR), les substrats du rétro-réflecteur planaire ont été recouverts d'une fine couche de TiO_2 (100 nm) par pulvérisation rf-magnétron. pour éviter l'oxydation de l'Ag dans les étapes de frittage ultérieures. L'anatase TiO_2 -NP a été achetée auprès de Sigma Aldrich et a une taille moyenne de 20 nm. TiO_2 -NP pâte a été déposée par centrifugation sur ces substrats et ensuite moulé avec un timbre PDMS texture de pyramide, afin de créer distribués de façon aléatoire à noyau creux structures pyramidales inversé en TiO_2 -NPs sur le réflecteur plan, désigné comme IP- BR.

Pour enterrer les structures pyramidales de l'IP-BR, la pâte Si-NP a été enduite par centrifugation sur les surfaces texturées TiO_2 -NP et nivelée en la pressant avec un tampon PDMS plat conduisant à une architecture BLIS. Ces Si-NP d'un diamètre moyen de 4,9 nm, ont été synthétisés par décomposition assistée par micro-ondes de silane [33, 34]. Les détails du processus de nanomoulage utilisé peuvent être trouvés dans nos travaux précédemment rapportés [23]. L'étape de revêtement Si-NP conduit au BIP-BR qui a une distribution aléatoire de pyramides inversées TiO_2 -NP enfouies dans la bicouche Si-NPs, sur le réflecteur planaire d'origine. Pour fournir un contact arrière aux cellules solaires, 100 nm d'oxyde d'étain d'indium (ITO) d'épaisseur et 30 nm d'oxyde d'aluminium et de zinc (AZO) ont été pulvérisés sur le dessus de la surface de la couche de nanoparticules [30].

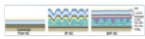
Les cellules solaires à couche mince a-Si: H de type pincement ont été fabriquées sur ces réflecteurs dans un système PECVD de type cluster en un seul passage pour garantir des conditions de dépôt identiques. Les films minces d'a-Si: H dopés et non dopés ont été déposés dans des chambres séparées du réacteur. L'épaisseur de la couche d'absorbeur a-Si: H a été maintenue faible à ~ 250 nm pour éviter une dégradation induite par la lumière [4]. Les épaisseurs des couches a-Si: H dopées p et n dopées étaient respectivement de 10 et 30 nm. Enfin, une couche d'ITO de 70 nm d'épaisseur a été déposée sur chaque cellule solaire en utilisant un masquage d'ombre dans le système de pulvérisation rf-magnétron pour fournir le contact avant au dispositif. Les illustrations schématiques en coupe des cellules solaires nip a-Si: H cultivées sur le Flat-BR (Flat-SC), l'IP-BR (IP-SC) et le BIP-BR (BIP-SC) sont présentées dans Graphique 2.

La topographie de surface des cellules solaires a été étudiée à l'aide de la microscopie à force atomique (AFM, Bruker Dimension Edge) et l'analyse en coupe des dispositifs de cellules solaires a été réalisée à l'aide d'un instrument à faisceau ionique focalisé (FIB, FEI VERSA 3D). Les propriétés optiques des rétro-réflecteurs et des dispositifs à cellules solaires ont été étudiées à l'aide d'un spectromètre équipé d'une sphère d'intégration de 150 mm (Perkin Elmer Lambda 1050). Les caractéristiques de densité de courant de la cellule solaire en

fonction de la tension ($J - V$) sous un éclairage solaire ont été mesurées à $100 \text{ mW} / \text{cm}^2$ Irradiance AM1.5 à l'aide d'un simulateur solaire Oriol calibré avec une lampe à arc au xénon. Les mesures de l'efficacité quantique externe (EQE) ont été effectuées à l'aide d'une configuration calibrée avec une cellule de référence, comprenant une lampe à lumière blanche stable, des filtres d'interférence, une lumière de polarisation, un hacheur et un amplificateur de verrouillage.

Le calcul du profil d'absorption numérique a été effectué à l'aide du logiciel de simulation dans le domaine temporel à différence finie (FDTD) de Lumerical.² Les détails de la modélisation FDTD sont présentés dans la section supplémentaire (Fig. S1) et dans les travaux précédemment rapportés [23 , 30]. En bref, le modèle physique de la structure de la cellule solaire était basé sur des données topographiques importées obtenues à partir d'images AFM de rétro-réflecteurs et les épaisseurs de couche obtenues à partir d'images FIB-SEM en coupe transversale des cellules solaires, comme le montre la figure S2. Les paramètres optiques (comme la variation spectrale des indices de réfraction et des constantes diélectriques) des couches constitutives des cellules solaires (sauf Ag [35]) ont été obtenus à partir d'études d'ellipsométrie spectroscopique des couches individuelles.

Fig. 2



Les illustrations schématiques en coupe des cellules solaires nip a-Si: H cultivées sur Flat-BR (Flat-SC), IP-BR (IP-SC) et BIP-BR (BIP-SC).

3. Résultats et discussion

La surface IP-BR montre une valeur de rugosité quadratique moyenne (σ_{rms}) de $\sim 548 \text{ nm}$ et se compose de caractéristiques pyramidales inversées placées au hasard (avec des tailles de caractéristiques latérales comprises entre 1 et $5 \mu\text{m}$) avec des bases carrées. En revanche, la surface BIP-BR révèle une surface presque plane avec une valeur σ_{efficace} de $\sim 18,5 \text{ nm}$, les Si-NPs ayant rempli les noyaux du TiO_2 -NP pyramides inversées. La surface supérieure du BIP-BR dans la vue en coupe transversale montre des ondes peu profondes et très larges ($> 15 \mu\text{m}$) impliquant que malgré la valeur de rugosité absolue de $\sim 18,5 \text{ nm}$, la morphologie de la surface ne se compose pas de pics densément espacés ou pointus. Les images morphologiques des surfaces supérieures des structures IP-BR et BIP-BR obtenues par AFM et l'image MEB de la section transversale fraisée FIB d'une cellule solaire a-Si: H déposée sur BIP-BR sont présentées dans la figure supplémentaire S2.

Pour mieux vérifier à quel point la surface est vraiment lisse, en particulier en présence d'une distribution aléatoire de caractéristiques dans le rétro-réflecteur, nous nous tournons vers la fonction d'autocorrélation, qui exprime comment la surface est corrélée à elle-même à une certaine distance.³ Les longueurs d'autocorrélation déduites pour les surfaces BIP-BR et IP-BR sont respectivement de $3,53 \mu\text{m}$ et $1,97 \mu\text{m}$. Compte tenu des valeurs $\sigma_{\text{efficaces}}$, la longueur d'autocorrélation confirme la conclusion que l'enfouissement de la couche pyramidale inversée de TiO_2 -NP et le remplissage des pyramides inversées creuses avec Si-NP rend la surface supérieure du BIP-BR lisse. La douceur de la surface du substrat est cruciale pour la croissance de cellules solaires de bonne qualité et est l'un des principaux objectifs de ce travail.

Pour étudier les propriétés de diffusion de la lumière de l'IP-BR, du BIP-BR et du F-BR, nous avons réalisé des mesures de réflexion sur une large plage optique (de l'UV-visible 300 nm à l'IR 2000 nm) à l'aide d'une sphère d'intégration. La réflexion totale (R_{T}) et la réflexion diffuse (R_{D}) des structures IP-BR, BIP-BR et F-BR sont représentées sur la figure 3 a. L'excellente propriété réfléchissante des structures pyramidales inversées, presque comme celle du Flat-BR, est indiquée par leurs valeurs de réflectance totale élevées. Une certaine absorption détectée dans la gamme de longueurs d'onde $400\text{--}600 \text{ nm}$ de la lumière est associée à l'absorption dans le TiO_2 -NP et dans le TiO_2 couche mince en dessous. Dans le cas du BIP-BR, on observe des propriétés de réflexion très similaires à celles de l'IP-BR, à part une perte supplémentaire, quoique faible, de la réflectance totale pour $\lambda < 600 \text{ nm}$. Cela peut être attribué à l'absorption de lumière dans la couche de Si-NP, car dans la structure BIP-BR, outre le TiO_2 -NP avec un début d'absorption à environ 320 nm , sont également présents les Si-NP, qui ont un début d'absorption à $\sim 500 \text{ nm}$. De plus, dans la région de piégeage de la lumière de la cellule solaire a-Si: H ($600\text{--}800 \text{ nm}$), IP-BR et BIP-BR présentent des valeurs de réflectance totale très élevées qui sont proches de celles du F-BR. La perte de réflectance due à l'absorption dans la gamme de longueurs d'onde $400 < \lambda < 600 \text{ nm}$ à la fois dans IP-BR et BIP-BR, cependant, n'est pas préjudiciable, car la lumière incidente dans cette gamme spectrale est complètement absorbée par la couche active de la cellule solaire pincée avant d'atteindre le réflecteur arrière.

Les valeurs de réflectance diffuse très élevées ($> 90\%$ de la réflectance totale) de l'IP-BR sur une large plage optique peuvent être comprises comme la conséquence de multiples réflexions de lumière se produisant aux

interfaces obliques des structures pyramidales inversées. De plus, une diffusion omnidirectionnelle de la lumière a également lieu au niveau des surfaces nanotexturées, provenant des nanoparticules constitutives et au sein des structures optiquement inhomogènes comprenant des vides et des nanoparticules de tailles variables et leurs amas. Fait intéressant, des valeurs de réflectance diffuse élevées similaires sont observées pour la structure BIP-BR sur la même plage optique que dans le cas de l'IP-BR, ce qui peut être attribué aux multiples réflexions lumineuses et à l'abondante diffusion de la lumière qui se produit aux interfaces texturées enterrées.

Afin d'évaluer la distribution angulaire de la lumière réfléchi par l'IP-BR et le BIP-BR, un faisceau laser rouge ($\lambda = 633 \text{ nm}$) a été utilisé à incidence normale sur l'échantillon, et les distributions d'intensité de réflexion pour les deux s - et p - polarisation en fonction de l'angle de diffusion ont été enregistrés. La distribution angulaire de la lumière réfléchi de manière diffuse par l'IP-BR et le BIP-BR est représentée sur la [figure 3 b](#) et [c](#), respectivement, pour la lumière polarisée p et s ($\lambda = 633 \text{ nm}$) incidente normale à la surface. Pour les deux s - et p -polarisations, l'IP-BR et le BIP-BR présentent une diffusion sur une large plage angulaire avec une partie importante de la diffusion se produisant à de grands angles obliques, ce qui peut entraîner une récolte efficace de photons dans une cellule solaire.

Il est à noter que les propriétés optiques du BIP-BR ne sont pas dégradées par rapport à l'IP-BR, malgré l'enfouissement de la couche pyramidale inversée avec une autre couche de Si-NP avec une surface supérieure plate résultante. Les propriétés optiques des nanoparticules sont également importantes pour comprendre comment les microstructures des nanoparticules manipulent la lumière dans le réflecteur arrière. La lumière incidente non absorbée d'une longueur d'onde supérieure à environ 500 nm qui pénètre dans les couches du rétroreflecteur pénètre progressivement dans les matériaux / zones d'indices de réfraction inférieurs (les indices de réfraction déduits pour les Si-NPs et TiO_2 -NP sont respectivement de $\sim 2,8$ et $\sim 1,45$, à $\lambda = 500 \text{ nm}$) [23] conduisant à un trajet oblique de la lumière lorsqu'elle frappe la surface réfléchissante A_g , ce qui entraîne une plus grande diffusion et une longueur de trajet plus longue du photon réfléchi. Les Si-NP de diamètre moyen de 4,9 nm utilisés dans cette étude ont une bande interdite plus grande ($\sim 1,6 \text{ eV}$ en raison du confinement quantique) et diffusent la lumière sans trop d'absorption. Une bande interdite plus élevée Si-NP de petite taille conduirait à encore moins de pertes parasites mais à une diffusion plus faible de la lumière en raison de l'indice de réfraction plus faible.

Les caractéristiques courant-tension ($J - V$) des cellules solaires nip fabriquées sur le F-BR, l'IP-BR et le BIP-BR sont illustrées à la [Figure 4](#). Les paramètres de performance moyenne des appareils de cinq cellules solaires typiques de chaque appareil sont mentionnés dans le [tableau 1](#). Le rendement (η) de la cellule solaire sur F-BR est de 5,87% avec une densité de courant de court-circuit (J_{sc}) de $\sim 12,2 \text{ mA} / \text{cm}^2$ et un facteur de remplissage (FF) de $\sim 59\%$. On constate une détérioration des performances de l'a-Si: H réalisé directement sur IP-BR, donnant des valeurs FF et η de 30% et 3,31%, respectivement, malgré une amélioration du J_{sc} ($13,4 \text{ mA} / \text{cm}^2$). D'autre part, le J_{sc} , et FF r_j valeurs du BIP-SC sont de $13,9 \text{ mA} / \text{cm}^2$, 62% et 6,9%, respectivement. L'efficacité du BIP-SC est près de 17,5% plus élevée que celle du Flat-SC. La raison d'une telle amélioration des performances du dispositif BIP-SC est due à l'amélioration de $\sim 9,8\%$ de son J_{sc} par rapport au Flat-SC, car la tension en circuit ouvert et les valeurs FF sont presque comparables dans les deux dispositifs.

La distribution des couches croissantes sur les grandes textures sur une surface accrue dans l'IP-BR devrait conduire à une croissance de film non conforme et à une épaisseur de film sous-optimale. Combinée au fait que les couches tampons dopées et intrinsèques sont très minces, la croissance du film non conforme peut conduire à des discontinuités dans la couche se conformant à la surface supérieure rugueuse de l'IP-BR. Une indication indirecte de ceci est vue sous la forme de la distorsion dans la courbe $J - V$ du dispositif IP-SC, où le point d'inflexion proche du V_{oc} crée un comportement en forme de S , mettant en évidence une nette différence entre les performances de l'IP-SC et le BIP-SC. Cette forme en S du $J - V$ La courbe est un signe de collecte non optimale des porteurs dans l'appareil qui résulte des défauts dans les couches de cellules solaires [36 -38]. De nombreuses conceptions différentes de cellules solaires basées sur des nanomatériaux et des nanotextures ont été signalées qui découplent l'absorption de la lumière et l'extraction des porteurs conduisant à une efficacité accrue [39]. Dans le cas de l'IP-SC et d'autres textures rugueuses de ce type, l'avantage optique recherché est obtenu en raison de la diffusion accrue induite par les textures, mais il est souvent au détriment des performances électriques en raison des shunts et des défauts associés au rugueux. interfaces des couches de cellules solaires. Dans BIP-SC, nous sommes en mesure de résoudre ces problèmes électriques en conservant l'avantage de l'augmentation de la longueur du chemin des photons tout en créant des interfaces lisses des couches de cellules solaires électriquement actives. Les textures et les interfaces des couches de NP influencent les propriétés optiques en affectant les chemins de photons dans la cellule solaire mais sont isolées des chemins de porteurs de charge.

Ensuite, nous examinons dans quelle mesure l'amélioration des performances du BIP-SC peut être attribuée aux propriétés de diffusion de la lumière du BIP-BR. Pour comprendre l'effet de piégeage de la lumière, nous

mesurons l'absorption optique totale ($1 - R_T$) des cellules solaires a-Si: H déposées au-dessus du F-BR et du BIP-BR, comme le montre la [figure 5 a](#). On peut voir sur la [figure 5a](#) que les dispositifs Flat-SC et BIP-SC ont une absorption comparable dans la région des courtes longueurs d'onde (<600 nm). D'autre part, l'absorption du BIP-SC montre une amélioration significative aux grandes longueurs d'onde (> 600 nm) par rapport au dispositif Flat-SC. Cela démontre clairement que l'amélioration de l'absorption dans la région des grandes longueurs d'onde est due à un piégeage efficace de la lumière par le BIP-BR.

L'efficacité quantique externe dépendante de la longueur d'onde (EQE) et le rapport EQE correspondant ($EQE_{BIP-SC} / EQE_{Flat-SC}$) des appareils Flat-SC et BIP-SC illustrés à la [figure 5b](#) indiquent en outre que l'amélioration des performances du dispositif BIP-SC est dû au piégeage amélioré de la lumière à longue longueur d'onde. La [figure 5b](#) représente clairement la région spectrale où le dispositif BIP-SC surpasse le dispositif Flat-SC. L'EQE du BIP-SC commence à augmenter dans la région des longueurs d'onde au-dessus de 600 nm en raison de la diffusion efficace de la lumière incidente par le BIP-BR dans cette région, avec une augmentation très significative de la région des grandes longueurs d'onde $\lambda > 700$ nm.

Une étude de modélisation optique des cellules solaires (Flat-SC et BIP-SC) est importante pour améliorer et valider notre compréhension des mécanismes responsables de l'amélioration de l'absorption de la lumière et de l'efficacité des cellules solaires. La figure S3 compare les spectres d'absorption de lumière simulés et mesurés des appareils Flat-SC et BIP-SC. Les spectres d'absorption de ces dispositifs ont été simulés en considérant toute la profondeur du dispositif en utilisant le modèle optique représenté sur la figure supplémentaire S1 comprenant différentes couches, y compris les couches de nanoparticules dans le cas du BIP-SC. Malgré les non-idéalités dans les paramètres de simulation, un bon accord est obtenu entre les courbes d'absorption mesurées expérimentalement et simulées pour les cellules solaires. Cependant, dans le cas du BIP-SC, le profil d'absorption simulé affiche des pics dans la région de grandes longueurs d'onde, Empilement ZrO_2 -NP / Si-NP en raison de l'utilisation de conditions aux limites de couches périodiques et parfaitement adaptées (Fig. S1).

La [figure 6](#) présente la distribution spatiale simulée de l'absorption optique dans les couches constitutives des cellules solaires plates et BIP à des longueurs d'onde lumineuses de 450 nm, 550 nm, 650 nm et 750 nm.

L'estimation quantitative de la densité de puissance absorbée (en $\text{W} / \mu\text{m}^2$) peut être déduite de l'échelle de couleur représentée sur la figure. La couche supérieure de la cellule solaire a-Si: H absorbe complètement la lumière de courte longueur d'onde ($\lambda = 450$ nm). Les résonances de type Fabry-Pérot dans le film sont plus proéminentes dans le Flat-SC à des longueurs d'onde plus longues (> 550 nm), tandis que le BIP-SC montre la propagation de la lumière piégée dans la cellule solaire. Le Flat-SC montre une faible absorption globale à 650 nm, la majeure partie de l'absorption étant confinée à la région dopée n de la cellule solaire. D'autre part, des points diffus à haute absorption dans toute la couche d'absorbeur a-Si: H sont visibles dans le profil d'absorption du BIP-SC. Dans le cas de la lumière de longueur d'onde de 750 nm, une quantité substantielle d'absorption a encore lieu dans le BIP-SC, tandis que l'absorption dans le Flat-SC est tombée à des valeurs négligeables, ce qui correspond bien aux résultats obtenus à partir de l'expérience et études théoriques. La [figure 6](#) comprend les profils d'absorption des dispositifs jusqu'à ~ 140 nm sous la couche de cellules solaires (sous la ligne pointillée), qui est la région des Si-NP dans BIP-SC. La distribution d'absorption dans la petite partie de la couche de Si-NPs montrée dans les images pour BIP-SC indique clairement une absorption négligeable (bleu foncé dans l'échelle de couleur) pour la région de longueur d'onde courte ($\lambda < 650$ nm) et très faible même pour les longueurs d'onde longues ($\lambda > 650$ nm) (bleu foncé avec de petites taches bleu clair dans l'échelle de couleur). La densité de courant de court-circuit a été calculée à l'aide de l'équation (S-4) décrite dans la section / document supplémentaire, en ne considérant que l'absorption optique se produisant dans la couche i des cellules solaires. Le J_{sc} calculées valeurs pour le BIP-SC et le Flat-SC sont respectivement de $14,5 \text{ mA} / \text{cm}^2$ et $12,3 \text{ mA} / \text{cm}^2$, comme indiqué dans le [tableau 1](#). Ces valeurs J_{sc} calculées sont proches des valeurs mesurées expérimentalement, notamment dans le Flat-SC, validant ainsi notre modèle.

Nous avons jusqu'à présent établi que l'effet de piégeage de la lumière des surfaces optiques des microstructures de TiO_2 enterrées au sein de la couche Si-NP se traduit par une amélioration des performances de la cellule solaire. Cependant, une autre cause de piégeage de la lumière peut être la rugosité de surface de la couche de Si-NP sur laquelle la cellule solaire est développée, ce qui rend important d'explorer si les caractéristiques de surface de la couche de Si-NP conduisent également à une meilleure absorption de la lumière incidente. La rugosité de surface σ_{rms} du BIP-BR tel que préparé est de 18,7 nm, ce qui, après le processus complet de dépôt de cellules solaires, peut conduire à une rugosité légèrement inférieure de la surface supérieure de la couche de silicium. Toute contribution au piégeage de la lumière de la couche Si-NP avec $\sigma_{rms} \sim 18,7$ nm devrait conduire à une EQE plus élevée dans la gamme spectrale inférieure à 500 nm, ce qui est notablement absent sur la [figure 4 b](#). Ceci, avec la très grande longueur d'autocorrélation $\sim 3,5 \mu\text{m}$, annule la possibilité d'une amélioration du photocourant dans le BIP-SC due à des améliorations anti-réflexion ou de piégeage de la lumière résultant de la morphologie de la surface de la

couche Si-NP [40,41]. C'est plutôt le piégeage de la lumière effectué par les interfaces optiques à l'intérieur du réflecteur arrière BLiS qui conduit à l'amélioration du photocourant dans la cellule solaire sur celui-ci.

Un aspect important de toute approche de collecte de lumière est l'effet de la variabilité de l'angle d'incidence de la lumière du soleil sur la collecte de lumière. Avec une lumière incidente normale, un bon gain de photocourant et d'efficacité a été obtenu dans le BIP-SC par rapport au Flat-SC. Une large plage angulaire de diffusion de la lumière par l'IP-BR et le BIP-BR a été vue sur la figure 3, ce qui devrait se traduire par une meilleure performance des cellules solaires sur une large plage angulaire également. Le J_{sc} - les caractéristiques du Flat-SC et du BIP-SC ont été mesurées pour différents angles d'incidence pour une lumière de longueurs d'onde de 650 nm et 750 nm. Les longues longueurs d'onde de la lumière, qui sont moins absorbées par le matériau a-Si: H, sont utiles pour recueillir des informations sur la diffusion de la lumière se produisant spécifiquement à l'arrière de la cellule. Les dépendances angulaires de J_{sc} pour les dispositifs BIP-SC et les Flat-SC sont indiqués sur la gauche y-axes de la figure 7 a et b, tandis que la droite y-axes montrent la dépendance angulaire de la J_{sc} rapport ($J_{sc-BIP-SC} / J_{sc-Flat-SC}$) pour les deux longueurs d'onde. La baisse de J_{sc} du BIP-SC est moins raide que celle observée avec le J_{sc} du dispositif Flat-SC. À un angle d'incidence de 40°, le J_{sc} du BP-SC est 1,6 fois le J_{sc} du dispositif Flat-SC pour une lumière de 650 nm et 3,4 fois pour une lumière de 750 nm.

Le piégeage de la lumière à large bande réalisé avec la bicouche TiO₂-NP / Si-NP avec des caractéristiques de pyramide inversée dans la présente étude fait ressortir les avantages des réflecteurs BLiS basés sur des nanoparticules ayant différents indices de réfraction. La méthode de nanofabrication peu coûteuse et simplifiée présentée est évolutive, contourne les approches compliquées d'aplatissement mécanique et chimique des microstructures de piégeage de la lumière et ouvre la voie à une gestion optique moins contrainte par la forme ou la rugosité des nanostructures. De plus, l'excellente performance électrique des cellules solaires sur les réflecteurs arrière BLiS pour une large distribution des angles d'incidence montre également le potentiel pour une performance diurne meilleure et cohérente des cellules solaires.

Fig. 3



Réflectance totale (R_T , lignes pleines) et réflectance diffuse (R_D , lignes en pointillés) de Flat-BR, IP-BR et BIP-BR (a), et mesures de diffusion à résolution angulaire de IP-BR et BIP-BR (b et c).

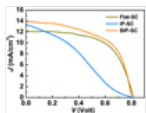


Fig. 4

Caractéristiques $J - V$ des cellules solaires à couche mince nip a-Si: H fabriquées sur Flat-BR, IP-BR et BIP-BR.

Tableau 1 Résumé des caractéristiques de performance des cellules solaires nip a-Si: H fabriquées sur des pyramides plates inversées et des surfaces rétro réfléchissantes pyramidales enterrées. Les améliorations de J_{sc} et η sont calculées en utilisant $\Delta J_{sc} = [(J_{sc-IP(BIP)-SC} - J_{sc-Flat-SC}) / J_{sc-Flat-SC}] \times 100\%$ et $\Delta \eta = [(\eta_{IP(BIP)-SC} - \eta_{Flat-SC}) / \eta_{Flat-SC}] \times 100\%$ respectivement.

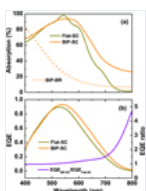


Fig. 5

a) Absorption optique totale par les dispositifs Flat-SC et BIP-SC (traits pleins), et absorption parasite par le BIP-BR (traits pointillés); (b) mesuré les spectres EQE (axe y gauche) des dispositifs Flat-SC et BIP-SC et le rapport EQE (axe y droit).

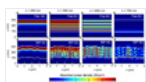


Fig. 6

La distribution d'absorption optique calculée à des valeurs de longueur d'onde de 450 nm, 550 nm, 650 nm et 750 nm pour les cellules solaires à couche mince a-Si: H (Flat-SC et BIP-SC). Les lignes pointillées sont ajoutées pour délimiter le film mince a-Si: H.

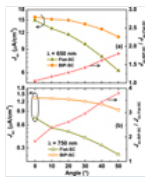


Fig. 7

La dépendance angulaire J_{sc} des dispositifs BIP-SC et Flat-SC pour deux longueurs d'onde de lumière non polarisée, 650 nm et 750 nm, est représentée respectivement dans les axes y gauche des parties (a) et (b). Les axes y droits de ces graphiques montrent la dépendance angulaire du rapport J_{sc} (J_{sc} -BIP-SC / J_{sc} -Flat-SC) pour ces deux longueurs d'onde de la lumière.

4. Conclusion

Des microcavités en forme de pyramide inversée de taille micro ont été réalisées dans une couche de TiO_2 -NPs, sur un réflecteur plan pour créer une couche de gestion de la lumière pour les cellules solaires à couches minces. Dans une autre conception, une couche de Si-NP à sommet plat a été moulée sur la couche de TiO_2 -NP pyramidale inversée pour créer des pyramides inversées Si-NP dans les noyaux des microcavités de TiO_2 . Le réflecteur arrière bicouche Si-NP / TiO_2 -NP a des textures enterrées et une surface lisse pour la croissance ultérieure des couches de cellules solaires. Les études montrent une augmentation de la diffusion de la lumière et une amélioration des performances des cellules solaires sur une large gamme de longueurs d'onde ainsi que sur une gamme d'angles d'incidence. Les deux conceptions conduisent à une diffusion accrue de la lumière, mais la pyramide inversée exposée TiO_2 -couche conduit à une diminution de l'efficacité de la cellule solaire et du facteur de remplissage en raison de l'effet néfaste d'une interface de croissance de cellule solaire rugueuse. Les gains d'efficacité et de densité de courant de court-circuit atteignent respectivement 17,5% et 14% dans la cellule solaire à couche mince a-Si: H développée sur le rétroreflecteur bicouche pyramidal enfoui. La technique industrielle de fabrication des textures BLiS est peu coûteuse, évolutive et simple. Notre étude fait ressortir l'avantage d'utiliser des nanoparticules optiquement différentes pour créer des textures de manipulation de la lumière à l'échelle nanométrique et micro enfouies pour les appareils où il est souhaitable d'éviter la rugosité morphologique.

Déclaration de contribution de l'auteur

SKR a conçu la méthodologie utilisée pour les rétroreflecteurs à diffusion de lumière enterrés nanomoulés (BLiS) et a coordonné l'ensemble des travaux de recherche; DD a réalisé la fabrication et la caractérisation de base des structures BLiS et des calculs FDTD; RR et CS ont dirigé les travaux de développement de la couche de silicium; SKR et RR ont effectué la caractérisation et les analyses de données; ANL, RNP et PB ont contribué à l'interprétation des données; DD et SKR ont écrit le manuscrit avec les contributions pertinentes de tous les auteurs.

Remerciements

Les auteurs reconnaissent le soutien du Conseil danois de la recherche stratégique dans le cadre du projet «THINC» et du Fonds d'innovation du Danemark dans le cadre du projet «SunTune». Nous remercions Hartmut Wiggers d'avoir fourni des Si-NP pour ce travail, Yao-Chung Tsao pour les mesures de réflectivité angulaire des réflecteurs arrière et Pia B. Jensen pour les mesures FIB-SEM. DD et RNP reconnaissent également le soutien financier du projet I3N (UID / CTM / 50025/2019), financé par des fonds nationaux à travers la Fundação para a Ciência ea Tecnologia / Ministério da Educação e Ciência (FCT / MEC) et cofinancé par FEDER dans le cadre de l'accord de partenariat PT2020, ainsi que le soutien financier de FCT (Fundação para a Ciência ea Tecnologia) via les projets PTDC / FIS / 112885/2009, PTDC / CTM-ENE / 2514/2012 et RECI / FIS-NAN / 0183/2012 (FCOMP-01-0124-FEDER-027494).

Les références

1. J. Nelson, *Physique de la cellule solaire* (Imperial College Press, Londres, 2008) [Google Scholar]
2. AV Shah, H. Schade, M. Vanecek, J. Meier, E. Vallat-Sauvain, N. Wyrsh, U. Kroll, C. Droz, J. Bailat, Prog. Photovolt: Rés. Appl. **12**, 113 (2004) [CrossRef] [Google Scholar]
3. VE Ferry, MA Verschuuren, HBT Li, E. Verhagen, RJ Walters, REI Schropp, HA Atwater, A. Polman, Opt. Express **18**, A237 (2010) [PubMed] [Google Scholar]
4. FJ Haug, C. Ballif, Energy Environ. Sci. **8**, 824 (2015) [Google Scholar]
5. HW Deckman, CR Wronski, H. Witzke, E. Yablonovitch, Appl. Phys. Lett. **42**, 968 (1983) [Google Scholar]
6. H.-P. Wang, D.-H. Lien, M.-L. Tsai, C.-A. Lin, H.-C. Chang, K.-Y. Lai, Jr. H. He, J. Mater. Chem. **C 2**, 3144 (2014) [CrossRef] [Google Scholar]

7. ML Brongersma, Y. Cui, S. Fan, *Nature Mater.* **13**, 451 (2014) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
8. CF Guo, T. Sun, F. Cao, Q. Liu, Z. Ren, *Light: Sci. Appl.* **3**, e161 (2014) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
9. MA Green, *Si Solar Cells: principes et pratiques avancés* (Bridge Printery, Sydney, 1995) [[Google Scholar](#)]
10. KX Wang, Z. Yu, V. Liu, Y. Cui, S. Fan, *Nano Lett.* **12**, 1616 (2012) [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
11. H.-H. Cheng, Y.-Y. Chang, J.-Y. Chu, D.-Z. Lin, Y.-P. Chen, J.-H. Li, *Appl. Phys. Lett.* **101**, 141113 (2012) [[Google Scholar](#)]
12. J. Escarré, K. Söderström, M. Despeisse, S. Nicolay, C. Battaglia, G. Bugnon, L. Ding, F. Meillaud, F.-J. Haug, C. Ballif, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **98**, 185 (2012) [[Google Scholar](#)]
13. G. Li, H. Li, J. Ho, M. Wong, HS Kwok, lors de la *29e Conférence et exposition européenne sur l'énergie solaire photovoltaïque, Amsterdam, Pays-Bas, 2014* [[Google Scholar](#)]
14. SC Baker-Finch, KR McIntosh, *Prog. Photovolt: Rés. Appl.* **19**, 406 (2011) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
15. SE Han, G. Chen, *Nano Lett.* **10**, 4692 (2010) [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
16. G. Li, H. Li, JY Ho, M. Wong, HS Kwok, *Nano Lett.* **14**, 2563 (2014) [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
17. L. Hu, G. Chen, *Nano Lett.* **7**, 3249 (2007) [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
18. J. Zhao, A. Wang, MA Green, F. Ferrazza, *Appl. Phys. Lett.* **73**, 1991 (1998) [[Google Scholar](#)]
19. MM de Jong, PJ Sonneveld, J. Baggerman, CJM van Rijn, JK Rath, REI Schropp, *Prog. Photovolt: Rés. Appl.* **22**, 540 (2014) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
20. HBT Li, RH Franken, JK Rath, REI Schropp, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **93**, 338 (2009) [[Google Scholar](#)]
21. T. Soderstrom, FJ Haug, V. Terrazoni-Daudrix, C. Ballif, *J. Appl. Phys.* **103**, 114509 (2008) [[Google Scholar](#)]
22. CM. Hsu, C. Battaglia, C. Pahud, Z. Ruan, F.-J. Haug, S. Fan, C. Ballif, Y. Cui, *Adv. Energy Mater.* **2**, 628 (2012) [[Google Scholar](#)]
23. D. Desta, SK Ram, R. Rizzoli, M. Bellettato, C. Summonte, BR Jeppesen, PB Jensen, Y.-C. Tsao, H. Wiggers, RN Pereira, P. Balling, AN Larsen, *Nanoscale* **8**, 12035 (2016) [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
24. Y. Nasuno, M. Kondo, A. Matsuda, *Jpn. J. Appl. Phys.* **2**, L303 (2001) [[Google Scholar](#)]
25. D. Wang, G. Su, *Sci. Rep.* **4**, 7165 (2014) [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
26. AP Vasudev, JA Schuller, ML Brongersma, *opt. Express* **20**, A385 (2012) [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
27. KJ Byeon, H. Lee, *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* **59**, 10001 (2012) [[CrossRef](#)] [[EDP Sciences](#)] [[Google Scholar](#)]
28. YA Akimov, WS Koh, SY Sian, S. Ren, *Appl. Phys. Lett.* **96**, 073111 (2010) [[Google Scholar](#)]
29. C. Hsu, GF Burkhard, MD McGehee, Y. Cui, *Nano Res.* **4**, 153 (2011) [[Google Scholar](#)]
30. SK Ram, R. Rizzoli, D. Desta, BR Jeppesen, M. Bellettato, I. Samatov, Y.-C. Tsao, SR Johannsen, PT Neuvonen, TG Pedersen, RN Pereira, K. Pedersen, P. Balling, AN Larsen, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **48**, 365101 (2015) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
31. H. Sai, Y. Kanamori, M. Kondo, *Appl. Phys. Lett.* **98**, 113502 (2011) [[Google Scholar](#)]
32. K. Soderstrom, G. Bugnon, FJ Haug, S. Nicolay, C. Ballif, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **101**, 193 (2012) [[Google Scholar](#)]
33. RN Pereira, S. Niesar, WB You, AF da Cunha, N. Erhard, AR Stegner, H. Wiggers, MG Willinger, M. Stutzmann, MS Brandt, *J. Phys. Chem. C* **115**, 20120 (2011) [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
34. A. Gupta, MT Swihart, H. Wiggers, *Adv. Funct. Mater.* **19**, 696 (2009) [[Google Scholar](#)]
35. ED Palik, éd., *Manuel des constantes optiques des solides* (Academic Press, 1998) [[Google Scholar](#)]
36. MWM van Cleef, FA Rubinelli, R. Rizzoli, R. Pinghini, REI Schropp, WF van der Weg, *Jpn. J. Appl. Phys.* **37**, 3926 (1998) [[Google Scholar](#)]
37. C. Battaglia, SM de Nicolas, S. De Wolf, XT Yin, M. Zheng, C. Ballif, A. Javey, *Appl. Phys. Lett.* **104**, 113902 (2014) [[Google Scholar](#)]
38. JK Rath, REI Schropp, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **53**, 189 (1998) [[Google Scholar](#)]
39. Y. Zhang, H. Liu, *Crystals* **9**, 87 (2019) [[Google Scholar](#)]
40. RH Franken, RL Stolk, H. Li, CHM van der Werf, JK Rath, REI Schropp, *J. Appl. Phys.* **102**, 014503 (2007) [[Google Scholar](#)]
41. P. Kowalczewski, M. Liscidini, LC Andreani, *Opt. Express* **21**, A808 (2013) [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]

¹ www.sigmaaldrich.com

² Lumerical Solutions, Inc., <http://www.lumerical.com/tcad-products/fdtd/>

³ <http://gwyddion.net/documentation/user-guide-en/statistical-analysis.html>

Citez cet article comme suit: Derese Desta, Rita Rizzoli, Caterina Summonte, Rui N.Pereira, Arne Nylandsted Larsen, Peter Balling, Sanjay K. Ram, Nanomolded enterré lumière-diffusion (BLiS) rétroreflecteurs utilisant des nanoparticules diélectriques pour la collecte de la lumière en fines - film de cellules solaires en silicium, EPJ Photovoltaïque 11 , 2 (2020)

Matériel complémentaire

Le matériel supplémentaire contient les détails du modèle de simulation FDTD, les images FIB-SEM en coupe transversale du dispositif de cellule solaire BLiS, les images de topographie de surface des rétroreflecteurs et l'absorption optique calculée des dispositifs à cellules solaires plates et BLiS. ([Accédez ici](#))

Tous les tableaux

Tableau 1 Résumé des caractéristiques de performance des cellules solaires nip a-Si: H fabriquées sur des pyramides plates inversées et des surfaces rétroreflectrices pyramidales enterrées. Les améliorations de J_{sc} et η sont calculées en utilisant $\Delta J_{sc} = [(J_{sc-IP(BIP)-SC} - J_{sc-Flat-SC}) / J_{sc-Flat-SC}] \times 100\%$ et $\Delta \eta = [(\eta_{IP(BIP)-SC} - \eta_{Flat-SC}) / \eta_{Flat-SC}] \times 100\%$ respectivement.

[↑ Dans le texte](#)

Tous les chiffres

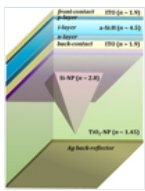


Fig. 1

Illustration schématique du rétroreflecteur BLiS pour cellules solaires à couche mince Nip Si. La couche de TiO_2 -NP sur le réflecteur arrière en argent plan a des microcavités de forme pyramidale inversée, qui sont en outre recouvertes par une couche de Si-NP à sommet plat.

[↑ Dans le texte](#)



Fig. 2

Les illustrations schématiques en coupe des cellules solaires nip a-Si: H cultivées sur Flat-BR (Flat-SC), IP-BR (IP-SC) et BIP-BR (BIP-SC).

[↑ Dans le texte](#)



Fig. 3

Réflectance totale (R_T , lignes pleines) et réflectance diffuse (R_D , lignes en pointillés) de Flat-BR, IP-BR et BIP-BR (a), et mesures de diffusion à résolution angulaire de IP-BR et BIP-BR (b et c).

[↑ Dans le texte](#)

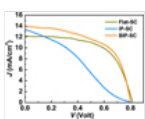


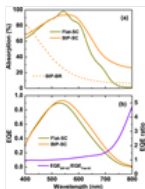
Fig. 4

Caractéristiques $J - V$ des cellules solaires à couche mince nip a-Si: H fabriquées sur Flat-BR, IP-BR et BIP-BR.

[↑ Dans le texte](#)

Fig. 5

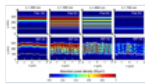
a) Absorption optique totale par les dispositifs Flat-SC et BIP-SC (traits pleins), et absorption parasite par le BIP-BR (traits pointillés); (b) mesuré les spectres EQE (axe y



gauche) des dispositifs Flat-SC et BIP-SC et le rapport EQE (axe y droit).

[↑ Dans le texte](#)

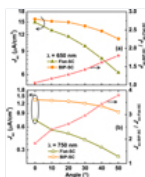
Fig. 6



La distribution d'absorption optique calculée à des valeurs de longueur d'onde de 450 nm, 550 nm, 650 nm et 750 nm pour les cellules solaires à couche mince a-Si: H (Flat-SC et BIP-SC). Les lignes pointillées sont ajoutées pour délimiter le film mince a-Si: H.

[↑ Dans le texte](#)

Fig. 7



La dépendance angulaire J_{sc} des dispositifs BIP-SC et Flat-SC pour deux longueurs d'onde de lumière non polarisée, 650 nm et 750 nm, est représentée respectivement dans les axes y gauche des parties (a) et (b). Les axes y droits de ces graphiques montrent la dépendance angulaire du rapport J_{sc} (J_{sc} -BIP-SC / J_{sc} -Flat-SC) pour ces deux longueurs d'onde de la lumière.

[↑ Dans le texte](#)

Nous recommandons

Fabrication de cellules solaires sensibilisées aux colorants avec différentes compositions de photoanodes en utilisant des nanocristaux hydrothermaux et P25 TiO₂

Farzaneh Ahmadloo et al., EPJ Applied Physics, 2015

Etude comparative de nanoparticules de TiO₂ appliquées à des cellules solaires à colorant

Rathowan Chtourou et al., EPJ Applied Physics, 2014

L'utilisation de la gravure chimique en phase vapeur dans les cellules solaires en silicium multicristallin

M. Ben Rabha et al., EPJ Applied Physics, 2009

Dépôt d'auto-assemblage couche par couche et caractérisation de nanoparticules de TiO₂ par polycation à chaîne courte

N. Taghavinia et al., EPJ Applied Physics, 2009

Amélioration de l'efficacité basée sur les nanoparticules d'Ag dans une cellule solaire organique inversée

Dalila Salem et al., EPJ Applied Physics, 2020

Amélioration de l'efficacité de la cellule solaire à jonction Schottky graphène-silicium grâce à la texturation des réseaux pyramidaux inversés

Qiu et al., Journal of Materials Science & Technology, 2018

Amélioration de l'efficacité de la cellule solaire à jonction Schottky graphène-silicium grâce à la texturation des réseaux pyramidaux inversés

Jiajia Qiu et al., Journal of Materials Science & Technology, 2018

Application du film hybride Ag-ZnO dans une cellule solaire polymère

XUE Zhi-chao et al., Chinese Journal of Luminescence, 2020

Démonstration de cellule solaire sur une feuille de graphite avec évaluation de la barrière de diffusion de carbone

Cho et al., Molecules, 2020

Le dupilumab prévient les poussées chez les adultes atteints de dermatite atopique modérée à sévère dans un essai de phase 3 contrôlé randomisé de 52 semaines

Joseph F Merola et al., Journal de l'American Academy of Dermatology, 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

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](#)