

Preuve de concept de texturisation de surface de Silicium par gravure chimique assistée par métaux nobles (MACE) pour des applications photovoltaïques

Sylvain Le Gall¹, Raphaël Lachaume¹, Encarnacion Torralba², Mathieu Halbwx³, Vincent Magnin³, Taha El Assimi², Marin Fouchier³, Joseph Harari³, Jean-Pierre Vilcot³, Christine Cachet-Vivier², Stéphane Bastide²

¹ Génie Electrique et Electronique de Paris, UMR-CNRS 8507, CentraleSupélec, Univ. Paris-Sud, UPMC

² Institut de Chimie et des Matériaux Paris-Est, CNRS, Univ. Paris-Est

³ Institut d'Electronique, Microélectronique et Nanotechnologies, UMR-CNRS 8520, Univ. Lille 1

De nouveaux procédés de gravure basés sur la gravure chimique à base de métaux nobles (MACE*) [1, 2] sont explorés dans le but d'obtenir une texturisation de surface plus efficace pour les cellules solaires en silicium [3]. Dans un premier temps, nous avons réalisé des simulations de courbures de bandes en 2 dimensions pour modéliser, à l'échelle nanométrique, les interfaces métal/silicium/électrolyte afin d'avoir une compréhension globale du mécanisme MACE. En effet, nous montrons selon le travail de sortie du métal, le dopage du Si et la nature du contact, que la variation de la courbure de bandes sous polarisation diffère et affecte d'une manière très significative les processus de gravure. Ces modélisations nous permettent de choisir le système le plus approprié pour la texturisation spécifique du substrat silicium.

Pour un substrat de silicium de type P modérément dopé, nous montrons que le contact nanoparticule Pt/Si(p) est ohmique et entraîne une gravure délocalisée [4]. En effet, une zone de silicium poreux se forme autour du pore et s'étend même bien au delà de la nanoparticule, signifiant que la gravure ne se fait pas uniquement en dessous de la nanoparticule comme souhaitée initialement. Toutefois, cette délocalisation mène à la formation de pores en forme de cône. De plus, appliquant une tension entre l'électrolyte et la face arrière du substrat, nous montrons que l'on peut moduler l'angle des cônes lors de la gravure. Ainsi, l'angle des cônes peut être ajusté afin de réduire la réflectivité. Une réflectivité inférieure à 5% [4] est mesurée expérimentalement sur la gamme du visible/ proche IR qui est une valeur plus faible que celles mesurées sur les cellules records [5].

Pour un substrat de silicium de type N modérément dopé, la nature du contact Au/Si(n) est adaptée pour obtenir une gravure localisée par MACE. Cela nous permet de développer une nouvelle stratégie, basée sur l'utilisation d'une électrode nanoporeuse macroscopique, afin de réaliser en une seule étape, un transfert de motif en 3 dimensions sur de grandes surfaces. Une preuve de concept a été expérimentalement obtenue en imprimant un réseau de pyramides inversées, et ceci indépendamment de l'orientation cristallographique du substrat [6]. Ces résultats servent de base à la mise au point d'une nouvelle technique d'impression avec une forte application dans le domaine du traitement de surface Si pour les applications photovoltaïques.

* *Metal Assisted Chemical Etching*

[1] X. Li, Curr. Opin. Solid State Mater. Sci. **16** (2012) 71–81.

[2] Z. Huang, N. Geyer, P. Werner, J. de Boor, U. Gösele, Adv. Mater. **23** (2011) 285–308.

[3] Projet ANR : défi « Stimuler le renouveau industriel », PATTERN ANR-14-CE07-005-03, 2015.

[4] E. Torralba, S. Le Gall *et al.*, ACS Appl. Mater. Interfaces **8**, 31375 (2016).

[5] E. Franklin, K. Fong, K. McIntosh, *et al.* Prog. Photovolt. Res. Appl. **24**, 411 (2016)

[6] E. Torralba, M. Halbwx, *et al.*, Electrochem. Comm. **76**, 79-82 (2017).