

酸化チタンを正孔選択性パッシベーションコンタクトに用いた 結晶シリコン太陽電池の開発

Development of Si solar cells featuring TiO_x hole-selective passivating contacts

産総研¹, Fraunhofer-ISE² °松井 卓矢¹, Martin Bivour², Martin Hermle², 齋 均¹

AIST¹, Fraunhofer-ISE² °Takuya Matsui¹, Martin Bivour², Martin Hermle², Hitoshi Sai¹

E-mail: t-matsui@aist.go.jp

【はじめに】高効率な結晶 Si 太陽電池を製造する技術として、Si 表面のパッシベーション機能と、電子または正孔の一方を選択的に取り出す機能を併せ持つ「キャリア選択性パッシベーションコンタクト (Carrier Selective Passivating Contact)」が注目されている。特に、これを a-Si:H などの Si 系材料を置換しうる低コストで光学的に透明な材料で実現することを目指した研究が行われている[1]。本研究では、ALD 法で製膜した酸化チタン (TiO_x) において、Si に対するキャリア選択性を制御できることを見出し[2]、デバイス実証を目指した研究を行ってきた。従来、TiO_x は Si[3]や様々な半導体に対して電子コンタクトとして働くことで知られてきた材料であるが、今回、TiO_x を用いて Si から正孔を選択的に取出すことに成功し、20%を超える変換効率を得た[4]。

【実験】TiO_x 薄膜は TTIP と H₂O を原料とした thermal-ALD で製膜した。テクスチャ構造をもつ n 型結晶 Si の表面に厚さ約 5 nm の非晶質の TiO_x を製膜した後、ITO/Ag-grid 電極を形成してセルの正極とした。負極にはヘテロ接合太陽電池で一般的に用いられる構造 (a-Si:H i-n/ITO/Ag) を用いて太陽電池を作製した。疑似太陽光を正極側から照射し、太陽電池の性能を評価した。

【結果】Fig. 1 は太陽電池の正極側の Si に TiO_x/ITO を製膜したセルと、ITO を直接 Si に製膜したセルの I-V 特性を比較している。Si/ITO 界面に TiO_x を挿入することにより V_{oc} が 200 mV から 500 mV まで増加し、TiO_x が正孔コンタクト (n 型 Si に対するエミッタ) として働くことを示している。しかし、TiO_x をテクスチャ Si に直接製膜する場合、パッシベーション性能と正孔選択性が不十分であった。そこで、TiO_x 表面に水素プラズマを照射したところ、パッシベーション性能と正孔選択性が同時に向上し、V_{oc} は 670 mV まで改善した。TiO_x は、Si に限らず様々な太陽電池の負極材料に用いられているが、今回初めて TiO_x が Si 太陽電池の正孔選択性パッシベーションコンタクトとして機能することが実証された。今回開発した太陽電池は、従来の a-Si:H を用いたヘテロ接合太陽電池に比べて、波長 400-600 nm で高い外部量子効率を示し、J_{sc} にして約 2.0 mA cm⁻² の増加を得た。TiO_x を受光面に設置した太陽電池では UV 耐性に改善の余地が残っているものの、これまでに 21.1%の変換効率を得た。今回開発した技術により、結晶 Si 太陽電池に用いられてきた従来の正極材料に優る性能を低コストな材料・プロセスで得られる可能性があり、高効率で低コストな新型太陽電池の実現につながることを期待される。[1] e.g., Dréon *et al.*, *Nano Energy* **70**, 104495 (2020). [2] T. Matsui *et al.*, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.* **209**, 110461 (2020). [3] X. Yang *et al.*, *Adv. Mater.* **28**, 5891 (2016). [4] T. Matsui *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **12**, 49777 (2020).

【謝辞】本研究は NEDO 委託のもと実施した。ALD は産総研の共用施設 (NPF) を利用した。

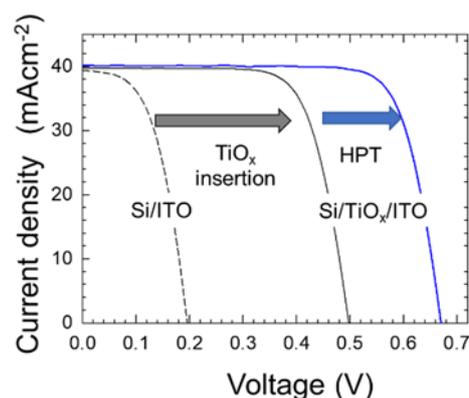


Fig. 1. Illuminated J-V curves of the Si solar cells featuring TiO_x hole selective passivating contacts (solid lines) and Si-ITO direct contact (dashed line). A hydrogen plasma treatment (HPT) on TiO_x layer improves V_{oc} significantly.