

## 人工光合成反応のための直列/並列 3 接合光電変換素子

## Series/parallel-connected triple-junction PV cells used for artificial photosynthesis

豊田中研 °竹田 康彦, 森川 健志, 加藤 直彦

Toyota Central R&amp;D Labs., °Yasuhiko Takeda, Takeshi Morikawa, Naohiko Kato

E-mail: takeda@mosk.tytlabs.co.jp

太陽光エネルギーのみを用いて、 $\text{H}_2\text{O}$  から  $\text{H}_2$  を、 $\text{CO}_2$  からギ酸、 $\text{CO}$ などを生成する人工光合成反応の solar-to-chemical 変換効率 ( $\eta_{\text{STC}}$ ) を向上させるためには、光電変換素子と電気化学リアクターを組み合わせる方式が有望である[1]。パワーコンディショナーと組み合わせる太陽電池は、電力(電流と電圧の積)が最大となるように最適化されるのに対し、人工光合成反応のための光電変換素子には、反応に要する電圧 (1.5–2 V) のときの電流が最大となるような設計が求められる。

直列/並列 3 接合素子 (S/P-3J, Fig. 1 [2]) には、高効率太陽電池である直列 2 接合 (S-2J)、3 接合 (S-3J) 素子に比べて、2 つの長所がある[3]。(1) 短波長光はトップセルにて吸収されるので、1 光子につき、反応に必要なエネルギーをもつ 1 キャリアが取り出される。S-2J, S-3J 素子の場合、1 キャリアに対し、光子エネルギーにかかわらず 2 光子または 3 光子が消費される。(2) 天候によって、トップセルに吸収される短波長成分の相対強度は大きく変動するが (Fig. 2(a))、トップセルとミドル/ボトムセルは並列接続されるので、電流不整合の問題は生じない。電流に比べて電圧の変化は小さいので、トップセルとミドル/ボトムセル間の電圧整合は維持される。一方、長波長成分の相対強度はあまり変化しないので、直列接続されるミドルセルとボトムセル間の電流整合はおおよそ保たれる。

S/P-3J 及び S-2J, S-3J 素子を電気化学リアクターと組み合わせたときの  $\eta_{\text{STC}}$  を計算した[3]。各素子のサブセルの電流–電圧特性を等価回路により表した。この特性が、現状の薄膜太陽電池の実測値におおよそ一致するように、回路の各パラメーターを決めた。電気化学リアクターの特性には文献値を用いた[4, 5]。AM1.5G 光照射のときに  $\eta_{\text{STC}}$  が最大となるように各サブセルのバンドギャップを最適化し、太陽光スペクトルが変動したときの  $\eta_{\text{STC}}$  を求めた。S-3J 素子よりも S-2J 素子、更に S/P-3J の方が高い  $\eta_{\text{STC}}$  が得られ、特に太陽光スペクトルが最適化条件 (AM1.5G) から大きく外れた曇天時 (OC-1, OC-2) に S/P-3J の効果が大きい (Fig. 2(b), (c))。即ちスペクトル変動に対してロバストである。

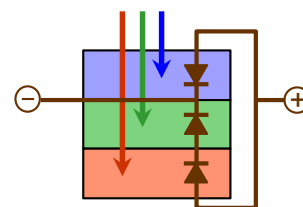


Fig. 1 Schematic illustration of series/parallel-connected triple-junction (S/P-3J) photovoltaic cell.

[1] N. Kato, et al., *Joule*, in press. [2] T. Trupke, et al., *J. Appl. Phys.* **96**, 2347 (2004). [3] Y. Takeda, et al., *J. Appl. Phys.* **127**, 204503 (2020). [4] S. Wen, et al., *Appl. Catal. B Environ.* **258**, 117953 (2019). [5] S. Verma, et al., *ACS Energy Lett.* **3**, 193 (2018).

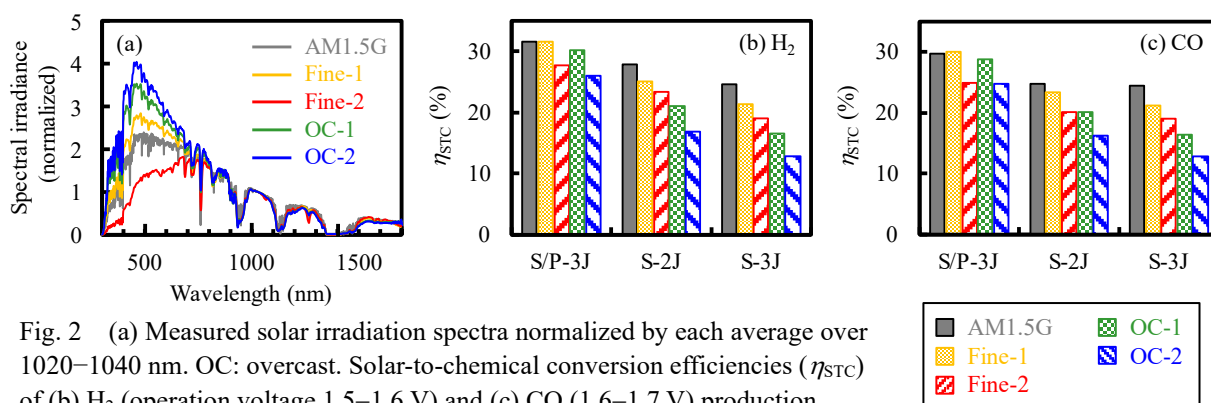


Fig. 2 (a) Measured solar irradiance spectra normalized by each average over 1020–1040 nm. OC: overcast. Solar-to-chemical conversion efficiencies ( $\eta_{\text{STC}}$ ) of (b)  $\text{H}_2$  (operation voltage 1.5–1.6 V) and (c)  $\text{CO}$  (1.6–1.7 V) production.