

# 人工光合成反応のための電圧整合ペロブスカイト/結晶シリコン タンデム太陽電池モジュール

## Voltage-Matched Perovskite/Crystalline Silicon Tandem Solar Cell Modules

### Used for Artificial Photosynthesis

豊田中研<sup>1</sup>, °竹田 康彦<sup>1</sup>, 山中 健一<sup>1</sup>, 森川 健志<sup>1</sup>, 加藤 直彦<sup>1</sup>

Toyota Central R&D Labs.<sup>1</sup>, °Yasuhiko Takeda<sup>1</sup>, Ken-ichi Yamanaka<sup>1</sup>, Takeshi Morikawa<sup>1</sup>,

Naohiko Kato<sup>1</sup>, 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の研究は、大規模実証の段階に移りつつある。我々は人工光合成デバイスの高効率化と大型化の両立を目指し、結晶シリコン(Si)太陽電池(SC)モジュールと  $1\text{ m}^2$  サイズの電気化学(EC)リアクターを組み合わせ、solar-to-chemical エネルギー変換効率( $\eta_{\text{STC}}$ ) 10.5%を実現した[1,2]。更に高い $\eta_{\text{STC}}$ を得るために、この用途に適した SC モジュールを設計した。

SC モジュールをパワーコンディショナーに接続して用いる際には、電力(電流と電圧の積)が最大となるように最適化するのに対し、EC リアクターと組み合わせる場合には、反応に要する電圧、即ちデバイスの動作電圧( $V_{\text{op}} = 1.5\text{--}1.7\text{ V}$ )における電流が最大となること、従って最大出力動作電圧( $V_{\text{MPP}}$ )が  $V_{\text{op}}$  に一致することが求められる。有機無機ハイブリッドペロブスカイト(PVK)はその組成によりバンドギャップ( $E_{\text{g}}^{\text{(PVK)}}$ )が可変であるため、タンデム化に相応しい材料である。しかし、2 端子(2T)タンデム SC を構成するための  $E_{\text{g}}^{\text{(PVK)}}$  の最適値はトップ/ボトム SC 間の電流整合条件により決まるので、その  $V_{\text{MPP}}$  は一般には  $V_{\text{op}}$  に一致しない。従って、これを用いた 2T-EC デバイス(Fig. 1(a))は、高い $\eta_{\text{STC}}$ は得られない。

複数のトップ/ボトム SC をそれぞれ直列接続して構成したトップ/ボトム SC モジュールを並列接続した電圧整合(VM、トップ/ボトムモジュールの  $V_{\text{MPP}}$  が一致)タンデム SC モジュールと、やはり複数の EC リアクターを直列接続した EC モジュールを組み合わせた VM- $n$ EC デバイス(Fig. 1(b))は、直列接続数の調整により、特定の日射スペクトルに対して  $V_{\text{MPP}}$  を  $V_{\text{op}}$  に一致させることができるため、高い $\eta_{\text{STC}}$ が得られる。

PVK/Si タンデム SC モジュールと  $\text{CO}$  生成 EC リアクターを組み合わせたデバイスを想定し、年間平均の  $\text{CO}$  生成変換効率( $\eta_{\text{CO}}^{\text{(annual)}}$ )のモデル計算を行った[3,4]。その最大値は、VM- $n$ EC デバイスの方が 3% も高い(Fig. 2(a))。これは、日射強度や温度の変動に起因する VM SC モジュールの  $V_{\text{MPP}}$  の変化の悪影響は僅かであること、及び 2T タンデム SC の  $V_{\text{MPP}}$  が今の目的には高すぎることに起因する。この結果は、後者の悪影響がない 2T, VM 各 SC モジュール(パワコン接続)の光電変換効率( $\eta_{\text{SC}}^{\text{(annual)}}$ )の最大値がほぼ等しいことと対照的である(Fig. 2(b))。

[1] N. Kato, et al., *Joule* **5**, 1 (2021). [2] N. Kato, et al., *ACS Sustain. Chem. Eng.* **9**, 16031 (2021).

[3] Y. Takeda, et al., *JAP* **127**, 204503 (2020).

[4] Y. Takeda, et al., *JAP* **132**, 075002 (2022).

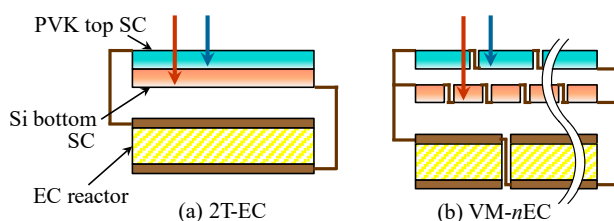


Fig. 1 Artificial photosynthetic devices consisting of SC modules and EC modules.

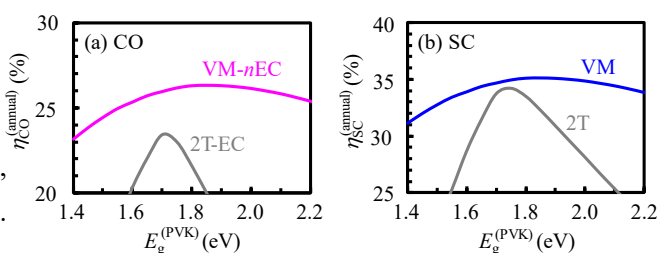


Fig. 2 Annually averaged (a) solar-to- $\text{CO}$  and (b) solar-to-electricity energy conversion efficiencies.