

ペロブスカイト太陽電池の実用化へ向けた取り組み

(桐蔭横浜大) 宮坂 力

Challenges in developing perovskite solar cells for practical use

(Toin University of Yokohama) ○Tsutomu Miyasaka

We achieved high levels of V_{oc} for all inorganic CsPbI_2Br (bandgap 1.9eV) with 1.42 V¹⁾ and for mixed cation $\text{Cs-FA-MAPb(I,Br)}_3$ perovskite cells (bandgap 1.51eV) with 1.19V.³⁾ The CsPbI_2Br device exhibited V_{oc} exceeding 1.1V even under weak indoor illumination (200 lx) with power conversion efficiency (PCE) >34%²⁾. The mixed cation perovskite cells, working with conversion efficiency >22%, shows V_{oc} close to its SQ limit (ca.1.21V) as a result of interfacial modification with phenylethylamine bromide as a dipole-inducing layer.³⁾ These works show that the successful passivation of the junction interfaces is essential for increasing V_{oc} and power conversion efficiency.

Keywords : Perovskite; Photovoltaics; Solar cell; Interfacial passivation; MXene

ペロブスカイト太陽電池の光電変換特性において、短絡光電流密度は 90%を超える外部量子効率を示すようにほぼ飽和状態にあるため、実用化において高効率化を決めるものは開回路開回路電圧 (V_{oc}) と曲線因子 (FF) であり、これらはペロブスカイト結晶界面の欠陥等による電荷再結合によって低下するため、界面の欠陥密度を抑制する passivation の技術が効率向上につながる。本講演では有機、無機の分子や無機ナノシートを用いて界面の質を改善し V_{oc} を高める方法を中心に紹介する。

無機ペロブスカイトとして CsPbI_2Br (バンドギャップ 1.9eV) を用い、 SnO_2 電子輸送層と CsPbI_2Br の界面に非結晶 SnO_x のナノシート (厚さ<5 nm) を挿入したセルでは、界面の正孔ブロッキング機能が高められる結果、 V_{oc} は 1.42V まで向上し¹⁾、変換効率は 1 sun 光量下では 17%以上、屋内 LED 照明の 200 lx の光量下では 34%まで高まる²⁾。注目すべきは 200 lx の光量下 (1 sun 光量の約 1/500) においても V_{oc} が 1.1V 以上に維持させることであり、これは光電変換素子として極めて珍しい例であり、屋内 IoT 用の電源として実用化するのに有望である。一方、混合カチオンの有機無機ハイブリッドペロブスカイト ($\text{Cs}_{0.05}(\text{FA}_{0.83}\text{MA}_{0.17})\text{Pb}(\text{I}_{0.95}\text{Br}_{0.05})_3$ 、バンドギャップ 1.51eV) において、ペロブスカイトと正孔輸送層の界面に分極性分子の臭化フェニエチルアミンを自己組織化によって配向させたセルでは、双極子の電場効果によって正孔輸送材料の HOMO レベルと正孔輸送層の表面電位が大きく変化することがわかり、この効果によって、 V_{oc} は 1.19V まで高まった (変換効率>22%)³⁾。バンドギャップと V_{oc} の差である V_{oc} 損失は 0.32 eV と極めて小さく、 V_{oc} 値は Shockley–Queisser 限界の値に近いと考えられる。この研究は、配向した分子層を使った接合界面の効果的な passivation が V_{oc} を改善することを示す例である。ペロブスカイト太陽電池の活性層への添加剤として応用が広がっているものの 1 つに、無機ナノ材料の MXene ($\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$: Ti carbide) がある。MXene は厚さ 1~2 nm の層状化合物であり伝導性をもつ

[ここに入力]

ことで、電荷輸送を効率化することが期待できる。また実用上は耐熱性の高さにおいても有望な材料である。筆者らは MXene を部分酸化することで物性を改良し、n 型半導体性を持たせた材料としてペロブスカイト (MAPbI₃) の電子輸送層 (厚さ約 10 nm) に使用した。MXene を単独の電子輸送層に用いたセルは、シンプルな層構成の Planar 型セルである。この方法で効率 18% (V_{oc}, 1.06V) が得られ、MXene が有機の PCBM など に代わる電子輸送層に使えることを示した⁴⁾。

これらの passivation 技術は、効率面では 20%を超えたばかりのフレキシブルなフィルム型セルの特性を向上させるためにも有効である。筆者らは軽量のフィルムセルのモジュール作製にも注力しており、図 1 は 6 セル直列型のプラスチックフィルムモジュールの例である。講演では軽量フィルム素子を含めた実用化の方向も紹介する。

表 1 CsPbI₂Br ペロブスカイト光電変換素子の光電流—電圧特性 (屋外と屋内)

屋外 1sunの光量

Perovskite	J _{SC} (mA cm ⁻²)	V _{OC} (V)	FF (%)	PCE (%)
CsPbI ₂ Br	15.0	1.42	81.3	17.4

屋内 1/500 sunの光量(LED照明光、200 lux)

Perovskite	J _{SC} (μA cm ⁻²)	V _{OC} (V)	FF (%)	PCE (%)
CsPbI ₂ Br	21.0	1.14	86.0	34.2

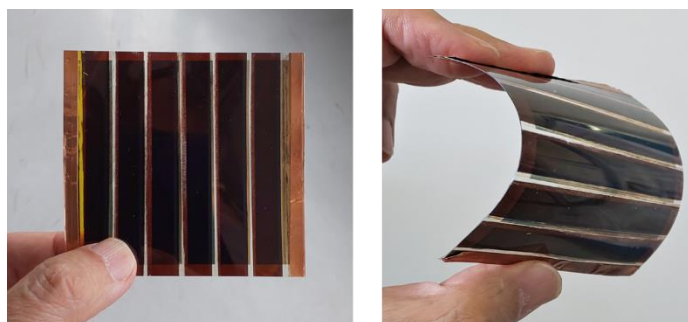


図 1 試作したプラスチックフィルムペロブスカイト太陽電池モジュール

[References]

1. Z. Guo, A. K. Jena, I. Takei, G. M. Kim, M. A. Kamarudin, Y. Sanehira, A. Ishii, Y. Numata, S. Hayase, and T. Miyasaka, *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, 142, 21, 9725–9734.
2. Z. Guo, A. K. Jena, I. Takei, M. Ikegami, A. Ishii, Y. Numata, N. Shibayama, and T. Miyasaka, *Adv. Functional Mat.*, **2021**, 31, 2103614.
3. G. M. Kim, H. Sato, Y. Ohkura, A. Ishii, and T. Miyasaka, *Adv. Energy Mater.* **2021**, 2102856
4. L. Yang, T. Miyasaka, et al. *J. Mater. Chem. A*, **2021**, 9, 5016-5025.

[ここに入力]