

Pb free Sn ペロブスカイト太陽電池の研究開発動向

Research Trend on Pb Free Sn Perovskite Solar Cell

電気通信大学 早瀬修二

The University of Electro-Communications

E-mail: hayase@uec.ac.jp

Pb-ペロブスカイト(PVK)太陽電池の効率は 25.2%に達しており、無機多結晶半導体太陽電池と同じレベルに達している¹⁾。一方企業側からは Pb イオンを含まない PVK 太陽電池に対する期待が大きい。周期律表で同じグループに属する Sn-PVK 太陽電池は近年大きな進歩が見られ、比較的高い効率がいくつかの研究機関で報告されるようになった。Sn-PVK には Sn²⁺の欠損と Sn⁴⁺の存在に関する欠陥が多く、研究初期には Sn 系 PVK は太陽電池には不向きであるという報告があった²⁾。SnF₂のドーピングや還元剤であるヒドラジン、リン酸を加えることによりキャリア密度の低下を試みた研究結果が報告されている³⁾。我々は Sn-PVK 層に Ge²⁺を添加することにより、上記欠点がさらに克服できることを見出した⁴⁾。Ge イオンはヘテロ界面に局在し PVK/フラーレン界面の平坦化、および界面、粒界パッシベーションにより電荷再結合中心である電荷トラップ密度を下げています。近年、我々をはじめ、いくつかの研究機関で 10%を超える Sn ペロブスカイト太陽電池が報告されている。研究の焦点は結晶格子内、粒界の欠陥密度の減少であり、粒界パッシベーションや組成の最適化によってそれらを解決している。ABX₃ で一般化される PVK の A サイトに phenethyl ammonium イオンや ethylenediammonium イオンを少量添加すると 2D 構造が粒界に形成され、9-10%程度と大きく効率が向上することが報告されている⁵⁾。我々は格子のひずみが小さいほど効率が高いことを報告した。これまで短絡電流はほぼ順調に伸びているが、Voc のロスが 0.8 eV 程度と大きいという問題があった。最近、種々の界面パッシベーションにより Voc のロスが 0.5 eV 程度に小さくなってきた^{6,7)}。欠陥とともに効率を上げるために注目されているのが、p/PVK/n の各層のエネルギー準位に関わるエネルギーロスである。最近我々は 0.85V 程度の Voc を実現し、13%程度の効率を報告した⁶⁾。近年、同様なアプローチにより Voc が 0.94 V の Sn 系 PVK 太陽電池が報告されている(12.4%, Voc loss:0.45 eV)⁸⁾。Pb-PVK 太陽電池の Voc ロスは 0.3-0.4 eV であり、Sn-PVK 太陽電池の Voc ロスは Pb-PVK と同等になった。Pb-PVK 太陽電池の研究初期の効率が 10%程度であったこと、および Pb-PVK と Sn-PVK の電子物性の類似性を考慮すると、20%を超える Pb free PVK の出現も夢ではなくなってきた⁹⁾。

参照文献 [1] Green M. A., et al., Prog. Photovolt: Res. Appl. 2019, 27, 565-575. [2]Leijtens, T., et al., ACS Energy Letters 2017, 2, 2159-2165. [3] M. H. Kumar, et al., Adv. Mater., 2014, 26, 7122-7127. [4] Ng, C.H., et al., Nano Energy, <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.01.026>, 2019. [5] Efat Jokar, et al., Adv. Mater., 2018, 1804835. [6] Nishimura, K., et al., Nano Energy, 2020, 74, 104858. [7] Kamarudin M. A., et al., J. Phys. Chem. Lett. 2019, 10, 17, 5277-5283. [8] Jiang, X., et al., Nature Communication, 2020, 11:1245 [9] Hayase S, Current Opinion in Electrochemistry, 2018, 11, 146-150.