ワイドギャップペロブスカイト太陽電池における Li 処理効果

Effect of lithium treatment on wide bandgap perovskite solar cell

東京都市大総研[1]，新潟大工[2]，東工大工[3] ○石川 亮佑[1]，加藤 拓也[2]，安蔵 涼太郎[2]，村田 歩紀[3]，宮島 晋介[3]，坪井 望[2]
Tokyo City Univ.[1] Niigata Univ.[2] Tokyo Tech.[3] ○Ryousuke Ishikawa[1], Takuya Kato[2], Ryoutaro Anzo[2], Ayuki Murata[3], Shinsuke Miyajima[3], and Nozomu Tsuboi[2]
E-mail: rishikaw@tcu.ac.jp

1. はじめに

様々な応用が期待されるワイヤレス給電のなかでも、高周波を用いるワイヤレス給電が苦手とする応用分野向けの技術として、光を用いた「光無線給電」が注目されつつある[1]。そこで我々は、電圧ロスが非常に小さく、大きな禁制帯幅を有する光吸収層の適用が可能、というペロブスカイト太陽電池の特徴を利用することにより、高効率な光無線給電用光電変換素子の開発に取り組んでいる。近年ペロブスカイト層にアルカリ金属を添加することで、結晶粒径の増大やパッシベーションの効果があることが報告されており[2]、本研究ではバンドギャップ約 2.3 eV の $CH_3NH_3PbBr_3$ ペロブスカイト太陽電池に対してリチウム処理を施すことによって太陽電池特性の改善、特に開放電圧の向上を試みた。

2. 実験方法

FTO 被覆ガラス基板にオルトチタン酸テトラブチル溶液をスピンコートして大気中焼成後、四塩化チタン処理をすることで compact-TiO_2 層を堆積した。また、酸化チタンナノ粒子分散溶液をスピンコートし、大気中焼成することで mesoporous-TiO_2 層を堆積した。Li 処理は TiO_2 層堆積後に Li-TFSI 溶液をスピンコートして大気中で焼成した。

その後、ペロブスカイト層はアンチソルベント法により以下の手順で堆積した。DMF:DMSO=7:3 v/v の混合溶媒に 0.6M の $CH_3NH_3PbBr_3$ 溶液を調整し、室温で一晩撹拌する。この溶液を TiO_2 上にスピンコートし、40 s 後にトルエンを滴下し、ペロブスカイト層を堆積した。正孔輸送層として spiro-OMeTAD を塗布形成した後に真空蒸着により 4 mm 角のマスクを用いて金電極を堆積することで太陽電池構造を作製した。

太陽電池の特性は AM1.5G の疑似太陽光と中心波長がそれぞれ 520 nm、455 nm の LED 光を 3 mm 角のマスクを用いて照射して評価した。Li 処理の効果を調べるためにペロブスカイト層のフォトルミネッセンス（PL）評価、光導電率測定、サブギャップ吸収測定を行った。

3. 結果と考察

図 1 に Li 処理有り無しのペロブスカイト太陽電池のセル特性を比較した。Li 処理をすることで短絡電流（J_{sc}）は 5.4→5.1 mA/cm^2 に微減するものの、開放電圧（V_{oc}）は 1.31→1.41 V に増加した。電圧が高くなった要因を探求するためにペロブスカイト層の光電子物性を評価した。

図 2 に励起波長 325 nm、150 K で測定した PL スペクトルを示す。Li 処理を施すとバンド内準位を介する長波長側の発光が弱くなりバンド間発光が支配的になっている。これはペロブスカイト層の欠陥や粒界、界面での再結合が抑制されている可能性を示唆している。導電率測定をした結果、暗導電率が 2.18×10^{-7} → 1.40×10^{-8} S/cm まで低下し、光感度も 0.97×10^{3} → 1.01×10^{4} まで向上した。さらに一定光電流法によるサブギャップ吸収測定をした結果、Urbach Energy も 27.4 → 21.8 meV に低減した。これらの結果から Li 処理によって、電子輸送層/ペロブスカイト層界面状態の改善だけでなく、ペロブスカイト層の欠陥抑制やパッシベーション効果により膜質が向上したことが、太陽電池特性における開放電圧の向上に繋がったと考える。今後さらに高い開放電圧を実現するためには電子輸送層、正孔輸送層を適正に選択していく必要がある。

最後に LED 光源を用いて単色光発電特性を評価した結果、520 nm LED 光源で η=14.6%、455 nm LED 光源で η=20.2%をそれぞれ達成した。

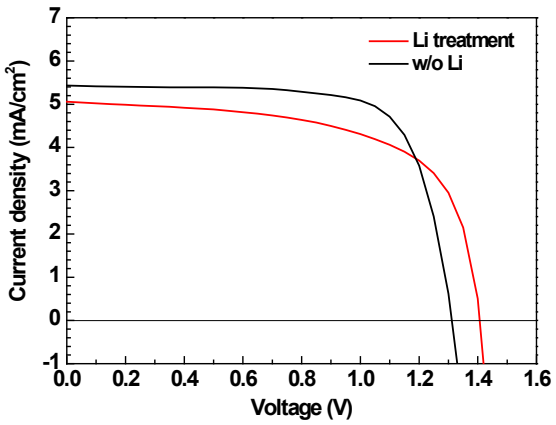

図 1. Li 処理有り無しの $CH_3NH_3PbBr_3$ 太陽電池特性

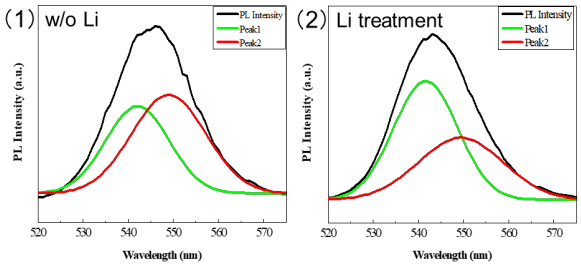

図 2. (1)通常の $CH_3NH_3PbBr_3$ と(2)Li 処理した $CH_3NH_3PbBr_3$ の PL スペクトル

参考文献

[1] *IEEE SPECTRUM*, Jan 29, 2016
[2] Z. Tang et. al., *Scientific Reports*, 7, 12183 (2017)

謝辞

本研究の一部は科研費 基盤 B (17H03532)の援助を受けた。

© 2020年 応用物理学会