

炭素電極を用いたペロブスカイト太陽電池に関する提案 (Vol.3)

概要

炭素電極を用いたペロブスカイト太陽電池は研究が進んでいるが、まだ課題も多い。低コストで高安定性を有する電子伝導材の炭素（カーボンナノチューブ）電極のみをホール輸送層（HTM）/Au 電極の代わりに用いた研究や、炭素に官能基を導入して電池の再現性・安定性を向上させた研究の調査結果をまとめた。ペロブスカイト膜に添加物を加える方法や、ペロブスカイトの組成を制御する方法は有効であり、すでに17%以上の効率が報告されている[1] ことが分かった。さらに、ペロブスカイト太陽電池の高効率・高耐久・低コスト化には、ペロブスカイト膜と電極との強固な接合界面形成が鍵であることも明らかになった。

政策立案のための提案

炭素電極を用いたペロブスカイト太陽電池の、以下の課題を解決する研究を進める必要がある。

■ペロブスカイト膜の欠陥制御

光励起されたキャリアからの光電流をより多く得るには、キャリアをトラップする欠陥の制御が不可欠。添加物による欠陥の不活性化やペロブスカイト膜の構造最適化が有力な手段となる。

■ペロブスカイト材料と炭素材料の接合の最適化

HTM フリー炭素電極については、ホール収集率の観点から、HTMに代って炭素電極への電子移動を遮断する材料や構造の検討が必要である。

■高耐久化のメカニズムの検討

HTM/ 金電極では金原子やHTM のドーパントの拡散による劣化、炭素電極では炭素の剥離などによる劣化が課題であり、これらの現象を定量的に検討することが重要である。さらに、通常安定性ではなく、常に流動的なペロブスカイトの特徴に沿ったセル構成の検討が必要である。

今回の調査で以下1.~3.の内容が明らかになった。

1.ペロブスカイト層の改良技術

近年市販のカーボンペーストを太陽電池に用いた研究が数多く報告されており、ペロブスカイト膜の改良などにより、効率が14 ~ 17%と高いものが得られると報告されている([2]他)。ペロブスカイト層は多くの欠陥構造を持つと考えられるが、欠陥形成を抑えるには、添加物による欠陥のパシベーション手法がよく使われている。これらの添加物はハロゲン結合などの相互作用で、欠陥構造に由来するトラップを不活性化した結果、光励起したキャリアの寿命を伸ばすと考えられる。また、添加物を使わずに、MAPbI₃と炭素の間にペロブスカイト材料であるMAPbI_xBr_{3-x}を挿入することによっても効率の向上が見られた[1]。

2.ペロブスカイト/炭素電極の接合技術

炭素電極を用いた場合、不安定な有機HTM の代わりに無機HTM (CuSCN) を試みた研究で効率17.58%が得られた[4]。HTMなし・ありの炭素電極を用いたペロブスカイト太陽電池のエネルギー準位を図示すると(図1)、HTM 導入により炭素電極への励起電子の流れがブロックされるだけでなく、HTM のHOMO 準位がペロブスカイトに近い場合、ホール移動もスムーズになる可能性がある。

3.炭素の構造制御技術

炭素の改質に着目した結果、酸素官能基(-COOH など)を付与したカーボンナノチューブを電極に用いることで、PbI₂ 薄膜ペロブスカイト膜と強い相互作用を持つことが可能となることが分かった。イオンが容易に拡散できるペロブスカイト結晶が再構成されることによって、初期の効率が3%程度のもので長期間放置をすることで膜も接合界面の質も自然に向上し(図2)、11%以上の効率に収束する。上記のペロブスカイト層やペロブスカイト/炭素電極の接合の改良に加え、炭素電極の構造制御も効率と耐久性を高めるために不可欠である。

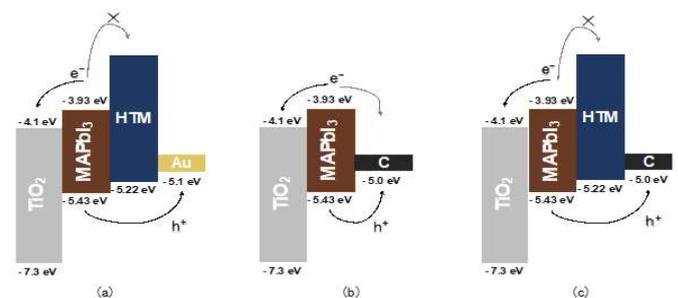


図1 セルを構成する材料のエネルギー準位

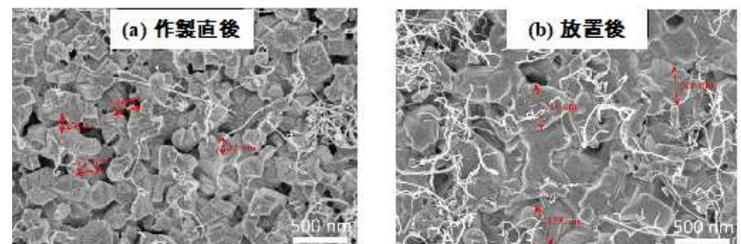


図2 酸素官能基を含む炭素電極を用いたセルにおけるペロブスカイト膜の表面の電子顕微鏡写真[3] (a)作製直後 (b) 放置後

[1] Liu, J. et al. (2019). In situ growth of perovskite stacking layers for high-efficiency carbon-based hole conductor free perovskite solar cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(22), 13777-13786.

[2] Liu, C. et al. (2021). Improving the Performance of Perovskite Solar Cells via a Novel Additive of N, 1-Fluoroformamidinium Iodide with Electronwithdrawing Fluorine Group. *Advanced Functional Materials*, 2010603.

[3] Chen, J. et al. (2019). MAPbI₃ Self-Recrystallization Induced Performance Improvement for Oxygen-Containing Functional Groups Decorated Carbon Nanotube-Based Perovskite Solar Cells. *Solar RRL*, 3(12), 1900302.

[4] Wu, X. et al. (2019). Efficient and stable carbon-based perovskite solar cells enabled by the inorganic interface of CuSCN and carbon nanotubes. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(19), 12236-12243.