ワイドギャップペロブスカイト太陽電池のグラフェン層挿入による開放電圧向上の試み

Increase of open-circuit voltage of wide bandgap perovskite solar cells by inserting graphene

新潟大工 [1]，東工大工 [2]　○加藤 拓也[1]，長竹 桃子[1]，山本 啓介[1]，安蔵 涼太郎[1]，石川 亮佑[1]，坪井 望 [1]，宮島 晋介[2]
Niigata Univ.[1], Tokyo Tech.[2], ○Takuya Kato, Momoko Nagatake, Keisuke Yamamoto, Ryoutaro Anzo, Ryousuke Ishikawa, Nozomu Tsuboi, Shinsuke Miyajima
E-mail: ishikawa@eng.niigata-u.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、レーザーを用いた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。本研究では臭素系のペロブスカイト材料を用いてワイドギャップなペロブスカイト太陽電池を開発することを目指した。さらに，カーボンをペロブスカイト層上に堆積した構造で高い開放電圧が報告されていることから[2]，最終的な多接合化も視野に入れて透明性の高いグラフェンをペロブスカイト層上に接合することで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。

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 1.2M の$(CH_3NH_3)PbBr_3$ 溶液を調整し、室温で一晩攪拌する。この溶液を TiO_2 上にスピンコートし，40s 後にトルエンを滴下し、ペロブスカイト層を堆積した。

一方，炭素源をメタンガスとして熱化学気層堆積装置を用いて，Ni 薄膜上に多層グラフェンを製膜した。次にポリジメチルシロキサン(PDMS)溶液をスピンコータで塗布・硬化させ，塩化鉄溶液で Ni 薄膜をエッチングで除去し，PDMS 上にグラフェンを転写した。

FTO/TiO_2/$(CH_3NH_3)PbBr_3$ 積層膜とグラフェン/PDMS 積層膜を真空貼り合せ装置で貼り合せ，PDMS を剥がしてグラフェン層のみをペロブスカイト上に積層した。最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，図 1(a)に示すような正孔輸送層フリーのワイドギャップペロブスカイト太陽電池を作製した。また，比較のために図 1(b)に示すような glass/FTO/TiO_2/$CH_3NH_3PbBr_3$/spiro-OMeTAD/Au 構造の太陽電池も作製した。

3. 結果と考察

作製した太陽電池の AM1.5G の擬似太陽光照射下での電流－電圧特性を図 2 に示す。正孔輸送層を用いた太陽電池において，開放電圧：1.38 V、短絡電流密度：4.5 mA/cm^2，曲線因子：0.71，変換効率：4.4%という太陽電池特性が得られている。グラフェン層を挿入した太陽電池の性能は，開放電圧が 0.48 V と著しく低く，変換効率も 1 %程度にとどまっており，正孔輸送層を使用したものより劣っているが，太陽電池として動作することは確認できた。低い太陽電池特性の要因としては，転写後の PDMS 上にグラフェンが残っていることが確認できたことから，転写されたグラフェン層が不均一であることが考えられ，貼り合せ条件を最適化することで特性改善が期待できる

真空貼り合せ装置を用いたグラフェン転写プロセスを用いることで，正孔輸送層フリーなワイドギャップペロブスカイト太陽電池の作製に成功した。グラフェン転写条件の改善などにより開放電圧の向上に取り組んでいるが，電子輸送層の TiO_2 もバンドオフセットの観点から電圧ロスを減らすために見直していく必要がある。また，タンデム化などによりさらなる高電圧化を目指し，ペロブスカイト太陽電池の光無線給電の可能性を高めていきたい。

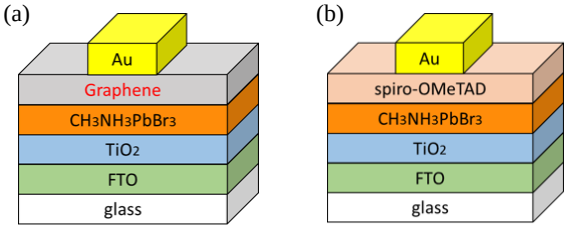

図 1　(a)グラフェンを用いた正孔輸送層フリーワイドギャップペロブスカイト太陽電池と(b) 正孔輸送層に spiro-OMeTAD を用いた太陽電池の概念図

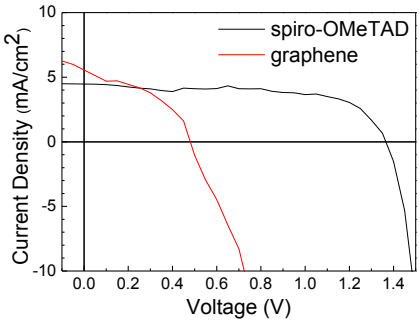

図 2 作製したペロブスカイト太陽電池の電流－電圧特性

謝辞

本研究の一部は科研費 基盤 B (17H03532F)の援助を受けた。

参考文献

[1] IEEE SPECTRUM, Jan 29, 2016
[2] Y. Liang *et al*, *Adv. Energy Mater.* **2018**, *8*, 1701159