

研究成果報告書

所属機関	職名	氏名
東京大学 大学院工学系研究科	特任講師	JEON IL

研究テーマ

All-Carbon Perovskite Solar Cells

研究報告

1. 研究の背景と目的

2009年、桐蔭横浜大学の宮坂力教授が発明したペロブスカイト太陽電池は 変換効率23.3%という最高公式記録を記録し、シリコン太陽電池と同等の効率と有機太陽電池の機能性の両方を持つ次世代のエネルギーデバイスとして期待されている。実用化を控えているペロブスカイトに今必要なのはただ二つ、1)信頼性の確保と2)機能性向上である。本研究は、炭素同素体を使用して既存の太陽電池の問題を解決し、実用化を達成すること、炭素同素体ペロブスカイト太陽電池を創出することが、この研究の目的である。

2. 研究成果および考察

財団から支援していただいた研究費をもとに以下の三つの研究成果を得ることができました。

- 1) 単層カーボンナノチューブ (Single-Walled Carbon Nanotube, SWNT) を太陽電池の電極として用いることで、従来の金属電極に比べ安定、低コスト、フレキシブルかつ透明な電極を実現できました (Fig.1)。特に、私は化学ドーピングを用いるとで更に単層カーボンナノチューブの電気的性能を更に向上することができました。

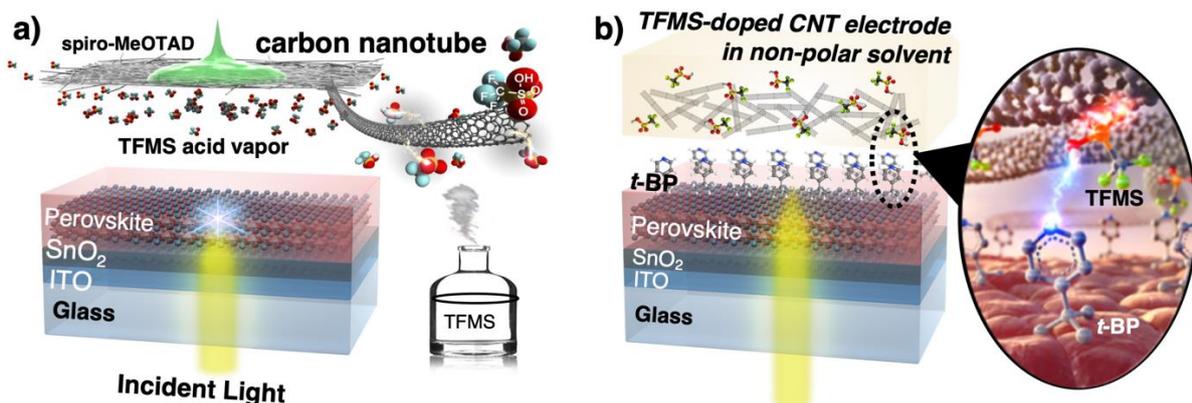


Figure 1. a) TFMS気泡ドーピングとb) TFMS non-polar solventドーピングを適用したカーボンナノチューブ電極ペロブスカイトソーラーセル (I. Jeon *et al.* *J. Mater. Chem. A* 8 2020, 11141)

- 2) 溶液プロセスが可能な二層カーボンナノチューブ (Double-Walled Carbon Nanotube, DWNT) を用いて高性能の透明電極を製作し、17%を超える高効率のペロブスカイト太陽電池を開発できました (Fig. 2)。

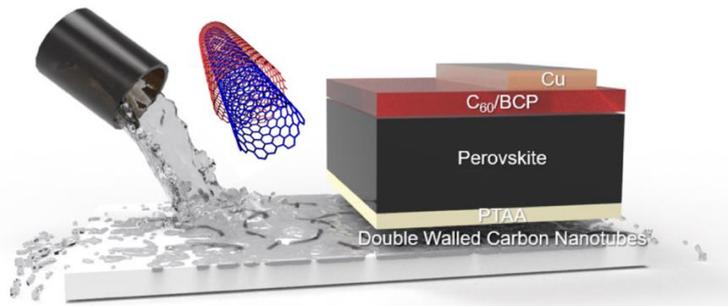


Figure 2. 溶液工程double-walledカーボンナノチューブ透明電極が適用されたペロブスカイトソーラーセル (I. Jeon et al., *Adv. Energy Mater.*, 2019, 1901204 front cover)

3) リチウムイオン内包フラーレンを単層カーボンナノチューブ電極に添加し、高い安定性を持つペロブスカイト太陽電池を開発できました (Fig 3)。

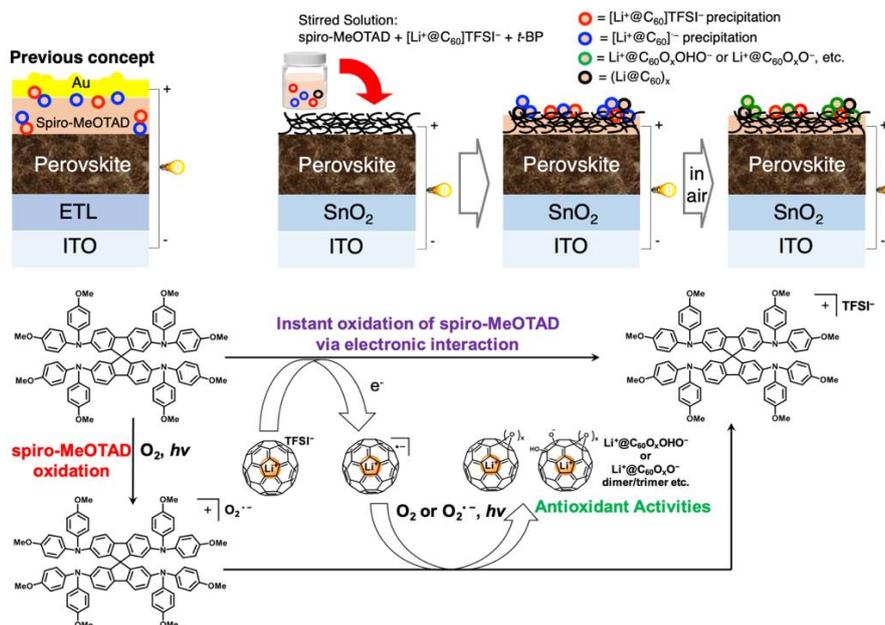


Figure 3. リチウムイオン内包フラーレンを単層カーボンナノチューブ電極を用いたペロブスカイト太陽電池に適用した時にホール輸送材料Spiroとリチウムイオン内包フラーレンの反応メカニズム (I. Jeon et al. *J. Am. Chem. Soc.* 2019, 141, 16553)

3. 将来展望

SWNTは、今回の研究を通じて、既存の金属電極に比べ安定、低コスト、フレキシブルかつ透明であることが分かりました。私は化学的ドーピングを用いて更にSWNTの電気的性能を改良することができました。今後、この材料を用いて、量産性を確保するため、大面積化を進めようと思っています。

同様に溶液プロセスが可能なDWNTを使用して、高性能の透明電極を製作することができました。この材料の性能向上を継続的に研究し、上記のSWNTと有・無機太陽電池に応用できるようにすることです。さらにこのカーボンナノチューブ材料はタンデム (tandem) 太陽電池にも活用される予定です。現在ペロブスカイト - シリコンタンデム太陽電池は、理論効率値に近い28%の効率を超えることで、学界の大きな注目を集めています。タンデム太陽電池は、安定性、コスト、そして透過時の光損失の問題を解決することが重要なボトルネックとなっていますが、タンデム太陽電池に炭素材料を応用した場合、これらの問題を全て解決できると予想されています。

カーボンナノチューブのみならず、フラーレンの研究も続けて行うことです。今回の研究を通じて、5-membered-carbon-ringが付いたフラーレン誘導体の合成を世界で初めて成功しました。このフラーレン誘導体は、特に耐熱性が優れており、その利点を活用して真空熱蒸着可能なフラーレン誘導体輸

送材としてペロブスカイト太陽電池に応用する予定です。これは世界最初であると同時にフラーレン誘導体輸送材の中でも、最高のパフォーマンスを達成できるようになります。リチウムイオン内包フラーレンの研究も、継続的に行っていく予定です。

4. 研究発表

- (1) ‘Carbon Nanotubes to Outperform Metal Electrodes in Perovskite Solar Cells via Dopant Engineering and Hole-Selectivity Enhancement’
Il Jeon^{*1st}, Ahmed Shawky^{1st}, Seungju Seo, Yang Qian, Anton Anisimov, Esko I. Kauppinen, Yutaka Matsuo*, Shigeo Maruyama*
Journal of Materials Chemistry A 8, 11141 - 11147 May **2020** (IF: 11.301)
- (2) ‘Multifunctional Effect of *p*-Doping, Anti-Reflection, and Encapsulation by Polymeric Acid for High Efficiency and Stable Carbon Nanotube-based Silicon Solar Cells’
Yang Qian, Il Jeon^{*}, Ya-Lun Ho, Sujeong Jeong, Changyun Lee, Clement Delacou, Seungju Seo, Anton Anisimov, Esko I. Kauppinen, Yutaka Matsuo, Yoonmook Kang, Hae-Seok Lee, Donghwan Kim, Jean-Jacques Delaunay, Shigeo Maruyama*
Advanced Energy Materials 10 (1), 1902389 November **2019** [selected for **Back Cover**] (IF:25.245)
- (3) ‘Investigation of Charge Interaction between Fullerene Derivatives and Single-Walled Carbon Nanotubes’
Clement Delacou^{1st}, Il Jeon^{*1st}, Otsuka Keigo, Taiki Inoue, Esko I. Kauppinen, Shigeo Maruyama*, Yutaka Matsuo*
InfoMat 1-12 October **2019** (IF:N/A)
- (4) ‘Controlled Redox of Lithium-ion Endohedral Fullerene for Efficient and Stable Metal Electrode-Free Perovskite Solar Cells’
Il Jeon^{*1st}, Ahmed Shawky^{1st}, Haosheng Lin, Seungju Seo, Hiroshi Okada, Jin-Wook Lee, Amrita Pal, Shaun Tan, Anton Anisimov, Esko I. Kauppinen, Yang Yang, Sergei Manzhos, Shigeo Maruyama*, Yutaka Matsuo*
Journal of the American Chemical Society 141 (42), 16553-16558 September **2019** [selected for **Inside Cover**] (IF:14.612)
- (5) ‘Highly Selective and Scalable Fullerene-Cation-Mediated Synthesis Accessing Cyclo[60]fullerenes with Five-Membered Carbon Ring and Their Application to Perovskite Solar Cells’
Hao-Sheng Lin, Il Jeon^{*}, Xiao-Yu Yang, Sergei Manzhos, Shigeo Maruyama, Yutaka Matsuo*
Chemistry of Materials 31, 8432-8439 September **2019** [selected for **Inside Cover**] (IF:9.567)
- (6) ‘Li@C₆₀ Endohedral Fullerene as Supermolecular Dopant for C₆₀’
Hiroshi Ueno^{1st}, Il Jeon^{1st}, Abhishek Thote, Haosheng Lin, Takafumi Nakagawa, Hiroshi Okada, Seiichiro Izawa, Masahiro Hiramoto, Shigeo Maruyama, Yutaka Matsuo*
Chemical Communications 55, 11837-11839 September **2019** [selected for **Inside Front Cover**] (IF:5.996)
- (7) ‘High-Performance Solution-Processed Double-walled Carbon Nanotube Transparent Electrode for Perovskite Solar Cells’
Il Jeon^{1st}, Jungjin Yoon^{1st}, Unsoo Kim^{1st}, Chang-Soo Kim, Rong Xiang, Hyuck Mo Lee, Mansoo Choi*, Shigeo Maruyama*, Yutaka Matsuo*
Advanced Energy Materials 9 (27), 1901204 July **2019** [selected for **Front Cover**] (IF:25.245)
- (8) ‘Semiconducting Carbon Nanotubes as Crystal Growth Templates and Grain Bridges in Perovskite Solar Cells’
Seungju Seo^{1st}, Il Jeon^{*1st}, Rong Xiang, Zhang Hao, Takeshi Tanaka, Jin-Wook Lee, Donguk Suh, Tatsuro Ogamoto, Junichiro Shiomi, Shohei Chiashi, Hiromichi Kataura, Yang Yang, Yutaka Matsuo*, Shigeo Maruyama*
Journal of Materials Chemistry A 7, 12987-12992 May **2019** (IF:11.301)