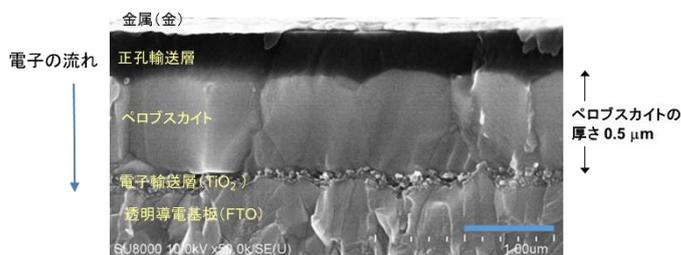


ペロブスカイト太陽電池の光発電特性と産業応用

桐蔭横浜大学・東京大学先端化学技術研究センター 宮坂 力

有機無機複合組成のハロゲン化鉛ペロブスカイト (ABX_3 , A=cation, B=metal cation, X=halogen) は優れた光物性を持つ半導体であり、溶液からの晶析によって厚さ $1\mu\text{m}$ 以下の多結晶膜として基板上に成膜する。この晶析の過程では有機溶媒分子が配向した鉛の金属錯体が中間体として生じ、この中間体から熱反応で目的のペロブスカイト結晶を薄膜として形成する過程が結晶の質を決める重要な過程となる。ペロブスカイト太陽電池の高効率化研究は、この成膜法の改良によって大きく進歩し、エネルギー変換効率は結晶シリコンの最高値と同等の 26% に達し、シリコンとのタンデムセルの効率は 33% に近いレベルに到達した[1]。

実用化への課題は、長期耐久性の確保であり、ペロブスカイト組成の改良、そして結晶粒子の表面の欠陥のパッシベーションが研究の焦点となっている。後者はとくに発電特性のなかの起電力（開回路電圧、 V_{oc} ）を高める効果につながる。筆者らは混合ハライドのペロブスカイト ($\text{Cs}_{0.05}(\text{FA}_{0.83}\text{MA}_{0.17})\text{Pb}(\text{I}_{0.95}\text{Br}_{0.05})_3$) の効率を 22% 以上に高めた研究のなかで、界面構造の改良によって V_{oc} を理論限界に近いレベルに高めることに注力した[2,3]。また耐久性を高める目的では、ペロブスカイト組成を有機無機複合組成 (120°C まで安定) から全無機組成の CsPbX_3 (X=I, Br) (400°C 以上まで安定) に換えたセルで高効率化を進めてきた。ここでも、 V_{oc} 向上に取り組み、ハロゲンイオンの拡散が原因となる安定性の低下を抑制するために、ペロブスカイトに接合する正孔輸送材料には、拡散性ドーパントを必要としない新材料（高分子）を使用した。電子輸送層には SnO_2 ナノ結晶膜を用いその表面には逆電子移動を抑制するために、アモルファスの SnO_x 超薄膜を被覆して改質した。この方法によって V_{oc} 値が 1.4V を超える高電圧の単セルが実現した。このセルは太陽光下で 17% 以上の効率を与える一方、低光量の屋内 LED 照明 (200 lux) のもとでも 1.1V 以上の V_{oc} を維持し、効率は 34% に達した[3]。この特性に支えられ、ペロブスカイトを用いる光電変換素子は太陽電池としてのみならず、屋内用 IoT デバイスの自立電源としても極めて有用である。



ペロブスカイト多結晶膜から成る太陽電池の層構造

ペロブスカイトは安価な溶液塗布法で成膜できるメリットから、インクジェットなどを使う印刷工程によって、フレキシブルなプラスチックフィルムに成膜した素子として作製することができる。軽量フレキシブルな薄型素子は産業化に向けて多くの用途につながる。薄膜であるメリットは、宇宙応用においてペロブスカイト太陽電池が、高エネルギー粒子(陽子および電子ビーム) への暴露に対して高い耐性を示すことにもつながり、JAXA との共同研究によって宇宙衛星用のペロブスカイト太陽電池の開発を進めている[4]。

1. T. Miyasaka, editor, *Perovskite Photovoltaics and Optoelectronics —From Fundamentals to Advanced Applications—*, Wiley-VCH, Weinheim, 2021, ISBN: 978-3-527-34748-3.
2. G. M. Kim, T. Miyasaka, et al., *Adv. Energy Mat.* **2022**, 12, 2102856.
3. Z. Guo, T. Miyasaka, et al., *Adv. Func. Mat.* **2021**, 31, 2103614.
4. Y. Miyazawa, T. Miyasaka, et al., *iScience* **2018**, 2, 148.

略歴

1981年東京大学大学院工学系研究科修了(工学博士)。富士写真フイルム株式会社足柄研究所主任研究員を経て2001年より桐蔭横浜大学大学院工学研究科教授。2006年～2009年に大学院工学研究科長。2005年～2010年に東京大学大学院総合文化研究科教授を兼務。2004年にペクセル・テクノロジーズ株式会社を設立、代表取締役。2017年より現職。2020年より早稲田大学先進理工学研究科客員教授。専門は光電気化学、有機無機ハイブリッドとくにペロブスカイト型太陽電池の開発。受賞は、英国 Rank Prize(2022年)、応用物理学会業績賞(2019年)、日本化学会賞(2017年)、市村学術賞(2020年)、クラリベートアナリティクス引用栄誉賞(2017年)、GSC 文部科学大臣賞(2009年)など。

