

知っておきたいキーワード

ペロブスカイト

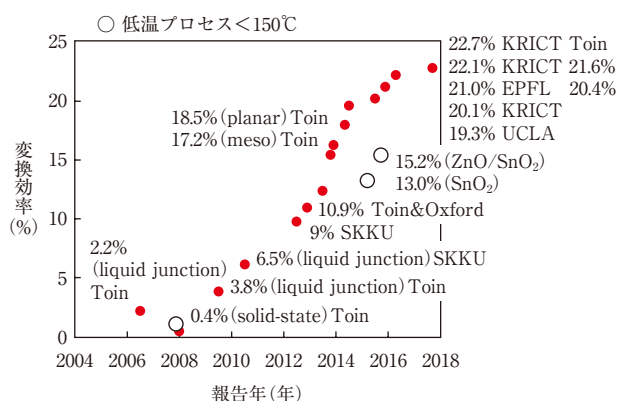
(正会員) 為村 成亨[†][†] NHK放送技術研究所 新機能デバイス研究部

"Perovskite" by Shigeyuki Imura (NHK Science & Technology Research Laboratories, Tokyo)

キーワード：ペロブスカイト，太陽電池，高効率，フレキシブル，光電変換素子

まえがき

安くて高効率，しかも塗るだけで発電できる。日本で生まれた「ペロブスカイト太陽電池」が，今，世界中で大きな注目を集める理由がそこにある。「ペロブスカイト太陽電池」は発明からわずか10年足らずの内にエネルギー変換効率を著しく向上させ，今やシリコン系太陽電池にも引けを取らない20%以上の変換効率を達成している(図1)。本稿では，将来のエネルギー事情を大きく変える可能性を秘めた次世代太陽電池のキーテクノロジーであるペロブスカイト材料について解説する。



meso: ナノ構造型 (メソスコピック型)

planar: 平面型

Liquid junction: 湿式 (電解質溶液中での電気化学反応を利用)

Toin: 桐蔭横浜大学

KRICT: 韓国化学研究所

EPFL: スイス連邦工科大学ローザンヌ校

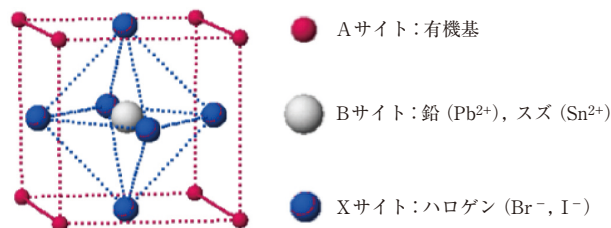
SKKU: 成均館大学 (韓国)

UCLA: カリフォルニア大学ロサンゼルス校

図1 ペロブスカイト太陽電池の変換効率の年度推移

ペロブスカイトとは？

ペロブスカイトとは，結晶構造が図2に示すようなペロブスカイトと呼ばれる構造から成る化合物の総称である。太陽電池では主にAサイトが有機分子(例えば， NH_3CH_3^+)，Bサイトが鉛やスズ，Xサイトがハロゲン¹⁾。

図2 有機無機ペロブスカイトの結晶構造 (ABX_3)

* 本稿で使用した図面は，桐蔭横浜大学 宮坂研究室よりご提供いただきました。

元素（例えば、 Br^- ）で構成される有機無機ハイブリッド型のペロブスカイトが用いられ、構成する元素を変えることで材料の光吸収波長を変えることができる。結晶がイオン結合から成り、電気的な偏りをもつ極性の溶媒に溶けるため、低温での溶液塗布プロセスによって容易に作製できる。

フィルム基板上へも低温形成が可能であり、また太陽光に対する吸収係数が高いため材料を薄くして曲げられることから、軽量のフレキシブル太陽電池としてシリコン系太陽電池が設置できないような車体やウェアラブル機器など、大幅な活用範囲の拡大が期待されている（図3）。



図3 フレキシブルなペロブスカイト太陽電池

ナノ構造型素子とその特性

ここではペロブスカイト太陽電池の素子構造として現時点で高効率な特性が多く報告されているナノ構造型について紹介する。図4にナノ構造型の(a)素子構造と(b)太陽電池の断面の電子顕微鏡画像を示す。ペロブスカイト太陽電池は、光を吸収し電荷（正孔と電子）に変換するペロブスカイト層をはじめとして、それぞれの電荷を陽極と陰極に効率良く分別するための正孔輸送層や電子輸送層で構成される。ナノ構造型素子では、まず基板上に形成されたFTO（Fluorine-doped tin oxide）電極上に薄い酸化チタン（ TiO_2 ）緻密層を成膜後、ペロブスカイト層を均一に成膜するための下地となる多孔質 TiO_2 層を形成する。この TiO_2 は、光生成された電子を電極に効率よく導くための電子輸送層としての役割も果たしている。次に、ペロブスカイト層を TiO_2 上に形成するために、例えば、ジメチルホルムアミド（DMF）などの有機溶媒中でハロゲン化鉛（例えば、

ヨウ化鉛（ PbI_2 ）とハロゲン化アルキルアンモニウム（例えば、ヨウ化メチルアンモニウム（MAI））などを混合したものをスピコートする。その後、正孔輸送層として Spiro-OMeTAD などの有機材料を成膜し、最後に金属電極を形成する。

間接遷移型半導体であるシリコン材料とは異なり、ペロブスカイトは直接

遷移型半導体であることから光吸収係数が高く、わずか数百 nm の膜厚でもほぼすべての可視光を吸収する。図5に示すように、素子表面の反射を除けば 100% に近い外部量子効率を示し、太陽電池としては吸収したほとんどの可視光を電力に変換することができる。

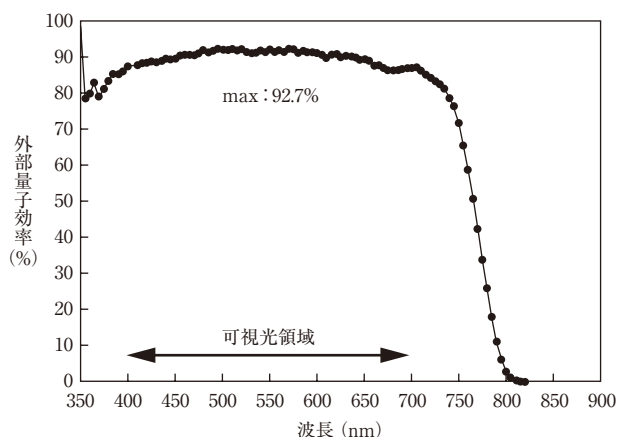


図5 ペロブスカイト太陽電池の発電特性

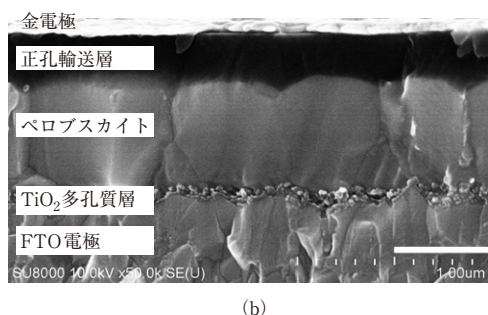
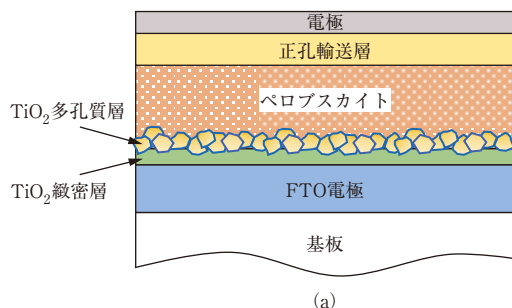


図4 (a) ナノ構造型素子、(b) ペロブスカイト太陽電池の断面構造

ペロブスカイトの光電変換素子への応用

ペロブスカイトはその優れた特徴と安価な製造プロセスから、太陽電池以外にも発光デバイス(LED)や受光デバイス(イメージセンサ、光ダイオード)などさまざまな応用が期待されている。桐蔭横浜大学の宮坂教授らはペロブスカイトを用いて光を大電流に変換する増幅型の光ダイオードを開発した。TiO₂緻密層の構造を調整し、光入射時に大電流が流れるようなバイパス構造を作ることによって、低い逆バイアス電圧(～1 V)で大きな信号増倍を確認した(図6)。他の増幅型ダイオードと比較して、安価で低電圧駆動が可能なことが大きな利点となる。

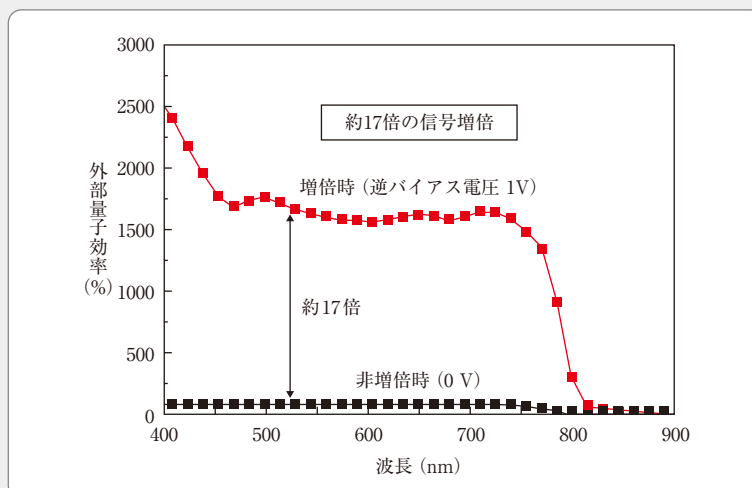


図6 ペロブスカイト光電変換素子の信号増倍

むすび

ペロブスカイト太陽電池は、素子の耐久性や、鉛を極微量に含むことによる安全性の問題など、現時点ではいくつかの課題を抱えている。しかし、材料の並外れた特性が世界中の研究者を魅了し、それぞれの課題も日進月歩で解決に向かっており、着実に実用化へ

の道筋が整いつつある。日本発の技術が、今後も世界の太陽電池開発を席巻し続け、近い将来、われわれの生活を大きく変えるような技術となることを期待したい。

謝辞 本稿の執筆にあたり、貴重な情報と資料を提供していただいた桐蔭横浜大学の宮坂力教授に深く感謝申し上げます。
(2018年3月20日受付)



いむら しげあき
為村 成亨

2005年、東京大学工学部物理工学科修士課程修了。同年、NHK入局。広島放送局を経て、2011年より、放送技術研究所において、高感度撮像デバイスの研究に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部に所属。正会員。

キーワード募集中

この企画で解説して欲しいキーワードを会員の皆様から募集します。ホームページ(<http://www.ite.or.jp>)の会員の声より入力可能です。また電子メール(ite@ite.or.jp)、FAX(03-3432-4675)等でも受け付けますので、是非、編集部までお寄せください。
(編集委員会)