

太陽光エネルギー利用の新素材開発

◆色素増感型光触媒の太陽光エネルギー変換効率を大幅に向上

2022年8月18日、東京工業大学の西岡駿太特任助教らの研究グループは、色素増感型光触媒を絶縁体の酸化アルミニウムとポリスチレンスルホン酸ポリマーにより修飾することで、太陽光エネルギーによって水から水素を製造する光触媒反応の効率を従来の色素増感型と比較して二桁高めることに成功したと発表した。

太陽光エネルギーを利用して水を水素と酸素に分解する光触媒反応は、有望なエネルギー変換方法として注目されている。しかし、通常の光触媒を用いた場合、可視光のエネルギーが小さいため、水分解反応の速度が遅いという点が課題とされてきた。この問題の解決策の一つとして、可視光を吸収する色素分子を光触媒表面に吸着し、色素が吸収した可視光エネルギーを利用する、色素増感型光触媒反応が研究されてきた。

植物の光合成メカニズムを模倣した2種類の光触媒と電子伝達剤を利用するZスキーム型光触媒システムにおいて、電子伝達剤は酸素生成系により還元されると同時に水素生成系において酸化されることで、2種類の光触媒間の電子伝達を担う（図.1）。この反応系では、可視光によって励起された電子（ e^- ）が水素生成に使われる前に、ルテニウム色素や電子伝達剤と反応してしまうこと（逆反応、図1点線）があり、逆反応が水素生成効率を低下させていた。研究グループは水素生成系と I_3^- が静電的な反発により接近を阻害する構造となるよう、水素生成系の表面に負に帯電したアニオン性ポリマーを修飾することで逆反応を抑え、大幅な特性向上に成功した。ルテニウム色素（Ru）を吸着した白金（Pt）担持酸化

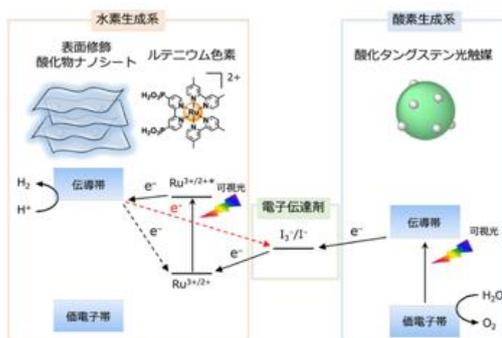


図.1 色素増感Zスキーム水分解系

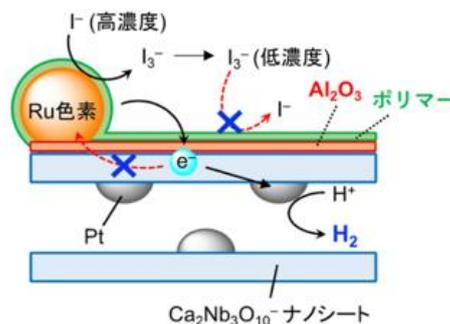


図.2 色素増感水素生成反応

出典：東京工業大学

物ナノシートに対し、逆電子移動（図1黒点線）抑制効果を持つ酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）を修飾した水素生成光触媒（ $Ru/Al_2O_3/Pt/HCa_2Nb_3O_{10}$ ）を用い、ポリマー修飾の効果を調べた。ポリマーと Al_2O_3 を共修飾することで、二桁の活性向上を達成した。また、ポリマーの修飾によって、水素生成系と I_3^- の反応だけでなく I^- との反応も抑制されることも明らかにした（図.2）。最適化したシステムでは、太陽エネルギーの水素への変換効率は0.12%、見かけの量子収率は4.1%を達成した。これらは、従来の半導体ベースの光触媒特性と匹敵するものである。今回の研究成果で反応機構の全容を明らかにしたことで、今後の色素の分子設計や修飾するポリマーの検討項目が明確になり、さらなる性能向上が期待できる。

◆可視光の80%を通すほぼ透明な太陽電池を開発

東京都の新築一戸建てを対象に太陽光パネル設置義務付けの動きがある中で、設置率向上に向け、現在太陽光パネルが設置できていない、窓ガラス、車のフロントガラスなどに設置が可能な透明太陽電池の開発が進められてきた。22年7月12日、東北大学の加藤俊顕准教授らのグループは、原子オーダーの厚みを持つ半導体2次元シートである遷移金属ダイカルコゲナイド（TMD：今回は WS_2 （二硫化タングステン））を活用することで、可視光透過率約80%の肉眼でほぼ存在が確認できないレベルの高透明太陽電池の開発に成功したことを発表した。TMD基本ユニットの最適構造を見だし、これらを $1cm^2$ に集積化することにより実用デバイス駆動できるレベルの電力（ $\sim 420pW$ ）が発電可能であることを実証した。

従来開発されてきた透明太陽電池は、可視光透過率が60%以下のもので、半透明に分類されていた。本研究チームは17年、TMDの半導体特性を活用し、透明太陽電池の発電機構となるショットキー発電を提唱し、世界最高の発電効率（ $\sim 0.7\%$ ）と半透明太陽電池を実現した。この時は電極にNi（ニッケル）やPd（パラジウム）などを用いていたため、半透明であった。今回、新たに透明電極であるITO（酸化インジウムスズ）電極をTMDの両側に接続し、ITO電極の表面に数mm以下の金属薄膜を堆積させ、最適な金属を選択することにより電極の仕事関数を制御することで、発電効率を大幅に向上させた。今後は、複数の基板を接続した大規模モジュール化を進めることで、大電力発電が可能になる。

太陽光エネルギーを活用する領域での新規素材開発に注目したい。【成田誠】