

ディビジョン番号	2
ディビジョン名	光化学

大項目	2. 光化学の応用展開
中項目	2-2. 光エネルギー
小項目	2-2-2. 色素増感太陽電池

**概要**

二酸化チタン等の半導体のナノ多孔膜に色素が単分子膜吸着した色素増感半導体電極を、電気化学界面で光励起することで発電を行う光電気化学セルである (Grätzel らが考案、1992 年)。ヨウ素/ヨウ素イオンを酸化還元剤とする有機電解液を用いて太陽光 1 kW/m<sup>2</sup> 照射に対するエネルギー変換効率は 11% に到達している (最大電圧 0.87V、光電流密度 20 mA/cm<sup>2</sup>)。大気中で作れる低コストの実用型太陽電池として、将来は Si 型固体太陽電池の置き換えをねらう。

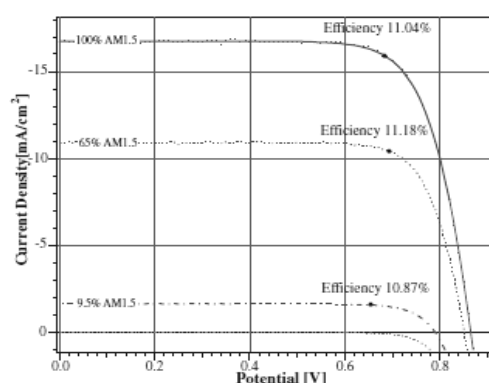
色素増感太陽電池の構造と光発電のしくみ

**現状と最前線**

電気化学界面における半導体の光電極反応を色素の吸着によって増感する方法は、写真用ハロゲン化銀の色素分光増感の応用として 1968 年には確立し<sup>1)</sup>、吸着面積の大きい焼結半導体を使って色素増感太陽電池 (DSC) を作る最初の試みが 1976 年に大阪大学によって<sup>2)</sup>、ナノ多孔膜を使うことで比表面積と効率を飛躍的に技術が 1992 年にローザンヌ連邦工科大学の Grätzel らによって発表された<sup>3)</sup>。DSC の開発と特許出願は世界的にも日本が最も盛んである。太陽光の入射エネルギーに対する変換効率は、ガラス基板を用いた小型セルで、2005 年には Grätzel らにより 11% 以上 (薄膜シリコン太陽電池と同等) に達した<sup>4)</sup>。セルの出力 (電圧、光電流) において光電流の内部量子効率は高効率 DSC ではすでに 1 に近く、今後の効率向上には、光吸収波長帯域の拡大 (長波長化) と電圧の増加が必要とされる。一般的に DSC の光電極 (アノード) は、TiO<sub>2</sub> ナノ結晶を含む塗布膜を 450°C~550°C で焼成してナノ多孔膜とし、これに色素を吸着して作る。これを、電解液層を挟んで対極 (カソード) と組み合わせてセルが完成する。電解液にはヨウ素/ヨウ化物を酸化還元剤として含む有機電解液を用いる。高効率セルには Ru ビピリジル錯体系色素が用いられ、最大 900 nm まで吸収して光電変換する。電極用透明ガラス基板にはフッ素ドーパド酸化スズ被覆導電ガラス (FTO) が用いられる。耐久性において DSC は 60~85°C の高温下の加速試験において 1000 時間以上の耐久性を持つことが報告される。企業で性能上、シリコン太陽電池に比べて非直射の散乱光の利用率が高いことが優位とされている。

DSC の新しい研究として、DSC のプラスチック化と固体化がある。前者は軽量フレキシブル化による安全性確保と用途の拡大、後者は耐久性の向上を目的としている。プラスチック化に必要な技術としてはTiO<sub>2</sub>を低温で成膜するための特殊TiO<sub>2</sub>ペーストの製造<sup>5)</sup>と機械的プレスを利用した成膜法があり5~7%の変換効率が得られている。透明電極にはITO導電膜を担持したプラスチックフィルムが用いられる。金属箔を基板に使うDSCも試作され、フレキシブルな基板に印刷法によってTiO<sub>2</sub>層、封止材等を順次被覆するロール搬送式の連続工程も企業によって実施されている。固体化においては、電解液に換えて、p型無機半導体(CuIなど)、高分子正孔輸送材、高分子ゲル、ナノカーボン材料等を用いる方法があり、高分子/カーボンの複合材料を使った方法では4%以上の効率が得られている<sup>6)</sup>。イオン液体で構成される不揮発性・不燃性の電解液の使用する例もある。また、対極の作製において、カソード触媒として一般に用いる白金を、大気中塗布の可能な安価な材料に置き換える研究も進んでおり、触媒にカーボン材料やPEDOTなどの導電性高分子が用いられている。

DSCの開発の目標は、実用化しているシリコン太陽電池を効率・コスト・寿命の総合評価で凌駕することである。プラスチック型ではその応用分野が携帯機器等の電池の置き換えを包含することから許容される効率と寿命の範囲が広い。



DSCの光電流-電圧特性の例(Grätzelら<sup>4)</sup>)

1. H. Gerischer and H. Tributsch, *Ber. Bunsen. Phys. Chem.*, **72**, 437(1968).
2. H. Tsubomura, M. Matsumura, Y. Nomura, and T. Amamiya, *Nature*, **261**, 402 (1976).
3. O'Regan and Grätzel, *Nature*, **335**, 737 (1991).
4. M. Grätzel, *Chem. Lett.*, **34**, 8(2005).
5. T. Miyasaka, Y. Kijitori, M. Ikegami, *Electrochemistry*, **75**, 2 (2007).
6. T. Miyasaka, N. Ikeda, T. N. Murakami, and K. Teshima, *Chem. Lett.*, **36**, 480(2007).

将来予測と方向性

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題  
エネルギー変換効率を結晶シリコンと同等以上の15%に高める。  
耐久性を高め、環境加速試験に基づいて15年以上の屋外耐久性(寿命)を実証する。  
色素等の素材と作製工程を低コスト化して、エネルギー価格100円/W以下を実現する。
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題  
電解液を固体材料で置き換えたセルによってエネルギー変換効率12%以上、20年以上の寿命、エネルギー価格75円/W以下を実現する。

キーワード:

光電気化学、色素増感、半導体、エネルギー、ナノ粒子

(執筆者: 宮坂 力)