703 マイクロ表面構造による色素増感太陽電池の高効率化に関する研究

Improvement in Generating Efficiency of Dye-sensitized Solar Cell by Surface Micro-structures

○非 長谷川 直美 (茨城大院) 正 小貫 哲平 (茨城大工) 正 清水 淳 (茨城大工)
正 周 立波 (茨城大工) 精正 山本 武幸 (茨城大工)

Naomi HASEGAWA, Graduate School, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Jun SHIMIZU, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Teppei ONUKI, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Libo ZHOU, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Takeyuki YAMAMOTO, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Dye-sensitized solar cell is a relatively newly developed low-cost solar cell. It is a photoelectrochemical system based on a semiconductor formed between a photo-sensitized anode and an electrolyte. Titanium dioxide, which is well known as one of the photocatalyst materials, is used as its semiconductor material in a form of nano-particles. In this study, it was investigated that the influence of surface micro-structures formed on transparent electrode, which is one of the constituent elements of a dye-sensitized solar cell, on the generating efficiency of dye-sensitized solar cell, because the increase in surface area of transparent electrode might bring an increase in light absorption. The surface micro-structures on the conductive transparent resin electrodes were fabricated by imprint lithography technique using fabricated mold with surface micro-structures. As a result, some improvement was observed in generating efficiency of developed solar cells.

Keywords: dye-sensitized solar cell, light absorption, anti-reflection, micro-structure, imprint lithography

1. 緒言

近年、エネルギー問題を解決するため様々な分野で研究が進められている。テレビジョンの電波、雨粒のエネルギー、歩行時の振動エネルギーなど、普段利用できないエネルギーをうまく利用した発電機構の開発が進んでいる。このような発電方法は、エネルギーハーベスティングの観点で非常に有利である。その中で、室内灯を一次エネルギーとした色素増感太陽電池がある。これは酸化チタンの半導体および光触媒機能を用いた太陽電池である。現在広く普及しているシリコン系太陽電池と比較して生産コストが格段に低い。また対応光域がシリコンでは赤外線であるのに対し、色素増感太陽電池は可視光線であるため室内でも対応可能である。

本研究では、色素増感太陽電池の高効率化を目指し、マイクロ表面構造の導入による太陽光吸収効率向上を図る。本報では、色素増感太陽電池の透明電極表面にマイクロ構造を成形することによる、発電率への影響について調べた結果を報告する。

2. 色素増感太陽電池

図1に色素増感太陽電池のモデルを示す。酸化チタンは代表的な半導体と比較するとそのバンドギャップは高く、可視光領域に反応する。つまり可視光領域で発電が可能である。しかし酸化チタンだけではその機能は低いので、色素を吸着させてその機能を向上させることで太陽電池として機能する。

Fig. 1 Schematic drawing of dye-sensitized solar cell

色素は特定の可視光を吸収して励起状態となるため、より波長の長い光でも発電が可能になる。また、光触媒反応で励起された有機色素のイオンと電解液中のイオンの循環で電流が流れる。この性質を利用して発電するのが色素増感太陽電池である⁽¹⁾⁽²⁾。

3. 金型製作および形状転写実験の概要

作製した色素増感太陽電池のさらなる発電の高効率化のために、透明電極の光の吸収率を増加させる。その手法として、光照射面に反射防止構造を形成する方法が挙げられる。モスアイと呼ばれる反射防止構造⁽³⁾では、光波長以下の構造周期をもつことで空気との接触率の差が徐々に変化し、反射が起こらなくなる。本来は μm オーダの構造が望ましいが、ここでは前段階として、数十 μm オーダの 無数の凹構造をもつ金型を作製し、入射面にその逆の凸構造を転写する。転写装置の概要を図2に示す。ここでは透明電極の入射面のみを検討を行う。

Fig. 2 Appearance of imprinting device and schematic drawing of micro-imprint lithography

Table 1 Imprinting conditions

Application method of imprinting pressure	Automatic ZF stage
Temperature	20 °C (Room temperature)
Applied load	0.4 N
Holding time duration	5 min.

Fig. 3 Mold and transparent electrode surfaces after imprinting

Table 2 Components of dye-sensitization solar cell

Electrolyte	Iodine solution
Transparent electrode	Conductive resin
Counter electrode	Graphite
Dye	Hibiscus tea (alcohol extract)
TiO ₂ Paste	Refinement water : TiO ₂ powder : PEG = 9 : 3 : 1

微細形状金型は、工作物に対し位置を変化させつつ圧子を押しこむことにより作製する。加工工具はダイヤモンド圧子、工作物はアルミニウムを使用し、加工に精密三軸同時制御加工機械装置を用いる。構造を形成する周期は縦 20 μm、横 10 μm、押込み深さは 20 μm である。この加工により得られたアルミ板を金型として透明電極に転写する。転写の加工条件を表 1 に示す。製作した金型と転写後の透明電極の顕微鏡写真を図 3 に示す。

4. 太陽電池製作および発電実験の概要

色素増感太陽電池の作製を行う。表 2 に作製の構成要素を示す。酸化チタン粉末はアナターゼ型を用いる。酸化チタン粉末、PEG(ポリエチレングリコール)、精製水、酢酸を混合したペーストを透明電極に塗布し、乾燥させる。その後、作製したチタンペーストに色素液を滴下し色素を定着させる。対極には黒鉛を塗布したアルミ板を用いる。黒鉛塗布面に電解液を滴下し、ペーストを塗布した面と黒鉛塗布面を空気が混入しないように接着し、固定する。未加工の透明電極を用いて作製した太陽電池 9 つ(A~I)と、加工後の透明電極を用いて作製した 4 つ(a~d)の太陽電池の出力電圧を計測する。また、未加工透明電極を用いて作製した電池を 3 つ直列に接続した状態で、光源別の出力電圧を計測する。

5. 実験結果および考察

未加工の透明電極を用いて作製した色素増感太陽電池の測定電圧を図 4 に示す。1 つあたりの出力電圧は、最大で 0.8 V、最低で 0.64 V、平均で 0.73 V が得られた。また、作製した電池を複数接続することにより、消費電力 500 mW 程度の電子オルゴールを作動させることに成功した。転写後の透明電極を用いて作製した太陽電池の出力電圧を図 5 に示す。最大で 0.8 V、最低で 0.76 V、平均で 0.78 V の出力電圧が得られた。よって、平均で約 10% 発電効率が向上したことになる。室内での発電効率をみるために試みた室内外での検討結果を図 6 に示す。出力電圧の差は 0.17 V と僅かであり、作製した太陽電池は室内でも十分発電可能であることがわかる。

Fig. 4 Output voltages of solar cells without micro-structures

Fig. 5 Output voltages of solar cells with micro-structures

Fig. 6 Output voltage under sun light and fluorescent lamp

6. 結 言

色素増感太陽電池の透明電極表面にマイクロ構造を成型し、光吸収率の向上による発電効率の構造を試みた。透明電極の光入射面に無数の凸型微小構造を成形し、加工前後の透明電極を用いた色素増感太陽電池を作製し出力電圧を比較した結果、約 10% の発電率の向上がみられた。

謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(C)(22560102)を受けており、ここに謝意を表す。

参考文献

- (1) B. O'Regan, M. Grätzel, Nature, 353, (1991) 737.
- (2) P. B. Clapham, M.C.Hutley, Nature, 244, (1973) 281-282.
- (3) 諸貫信行編著, 微細構造から考える表面機能, 工業調査会, (2010) 23-26.