

大気圧非平衡プラズマの3次元制御による 多孔質 TiO₂ 膜の作製と色素増感太陽電池への応用

Porous TiO₂ films formed with atmospheric non-equilibrium plasma under magnetic field and their application to dye-sensitized solar cells

静岡大院工, ○長尾 優輝、眞弓 慎司、澤村 南斗、奥谷 昌之

Shizuoka Univ., Yuki Nagao, Shinji Mayumi, Minato Sawamura, Masayuki Okuya

E-mail: tomokuy@shizuoka.ac.jp

1. 緒言

本研究グループでは、大気圧非平衡2次元プラズマを利用した金属酸化物の製膜を行っている^{1,2)}。前回、チタニウム(IV)テトライソプロポキシド(TTIP)を原料とし、高窒素濃度雰囲気下における、多孔質 TiO₂ 層の作製、およびその色素増感太陽電池(DSSC)への応用を報告した³⁾。本研究では、磁場印加によるプラズマの3次元制御とともに、窒素・酸素雰囲気ガスの混合比を変化させて多孔質 TiO₂ 層を形成し、これを DSSC へ応用した。

2. 実験手順

市販の TiO₂ 懸濁液(STS-02)と微粒子(P25)を所定濃度比で混合し、TiO₂ 原料溶液を調製した。さらに、TTIP と過酸化水素水(H₂O₂)を [TTIP]/[H₂O₂]=0.1(モル比)で混合し、TTIP 溶液を調製した。次に、150 °C に加熱した FTO ガラス基板に TiO₂ 原料溶液をスプレー熱分解法により噴霧・堆積後、これを TTIP 溶液に30分間浸漬した。続いて、多孔質 TiO₂ 層と自作の放電用電極を 0.1 mm の間隔で固定後、5 L/min の窒素・酸素混合ガスフロー下で 0.17 T の磁場を印加して非平衡プラズマを発生させ、これを TiO₂ 層に 75 分間照射した。上記の処理を1サイクルとして、合計2サイクルを行って、最終的に 10 μm 厚(1 サイクル目: 3 μm+2 サイクル目: 7 μm)の多孔質 TiO₂ 層を作製した。これらの多孔質 TiO₂ 層を利用して DSSC を作製し、電池特性を調査した⁴⁾。

3. 結果と考察

0.17 T の磁場下において、大気中で自作電極上に発生させたプラズマを Fig. 1 に示す。磁場印加により、平面状のプラズマにローレンツ力が誘導され、従来の2次元プラズマが3次元的に広がる様子を確認した。次に、各混合ガスフローの条件で作製された多孔質 TiO₂ 層を利用して作製した DSSC の電池特性を Table 1 に

示す。全体的に、磁場の有無に関わらず N₂/O₂=99.8/0.2 において、短絡電流密度(*J*_{sc})の上昇が観測された。これは、窒素由来のプラズマ活性種が TTIP の酸化反応や結晶化をアシストし、TiO₂ 粒子間のネッキングが促進されたことを示している²⁾。一方、磁場下で作製された TiO₂ 層を利用して作製されたセルの特性は、無磁場のそれと比較して、短絡電流密度の向上が観測された。これは、磁場印加によるプラズマの空間的な広がりにより、多孔質 TiO₂ 層のバルクまで効果的にプラズマ照射が実現し、TiO₂ 粒子間のネッキングが促進されたことを示している。現在、TiO₂ 粒子間のネッキングの促進に対する最適な製膜条件をさらに検討中である。

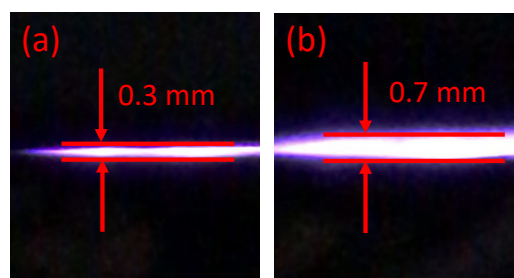


Fig.1 Plasma distribution in air with (a) no field and (b) 0.17 T of magnetic field.

Table 1 Photovoltaic parameters of DSSCs fabricated with porous-TiO₂ layers prepared by various conditions.

Atmosphere(N ₂ /O ₂)	0/100		Air		99.8/0.2		100/0	
Magnetic field(T)	-	0.17	-	0.17	-	0.17	-	0.17
<i>J</i> _{sc} (mA/cm ²)	1.4	2.6	3.5	3.7	4.2	6.1	3.8	4.2
<i>V</i> _{oc} (V)	0.61	0.69	0.71	0.70	0.76	0.75	0.73	0.72
<i>FF</i>	0.38	0.48	0.67	0.70	0.70	0.69	0.71	0.65
<i>η</i> (%)	0.30	0.86	1.7	1.8	2.3	3.2	2.0	2.0

1) M.Okuya et al., Applied Physics Express, Vol.7, 015501 (2014).

2) M.Okuya et al., Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 60, 045501(2021).

3) 長尾 他、第 68 回応用物理学会春季学術講演会 19a-Z15-4 (2021).

4) M.Okuya et al., J. Am. Ceram. Soc., Vol.101, pp.5071-5079 (2018).