

大気圧非平衡プラズマの磁場による 3 次元的制御を利用した 多孔質 TiO₂ 層の作製と色素増感太陽電池への応用

3D control of a non-equilibrium atmospheric plasma with applying magnetic field to deposit a porous-TiO₂ layer for a dye sensitized solar cell

静岡大院工, °長尾 優輝, 澤村 南斗, 眞弓 慎司, 奥谷 昌之

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

E-mail: tomokuy@shizuoka.ac.jp

1. 緒言

本研究グループでは、大気圧非平衡二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。前回、チタニウム(IV)テトライソプロポキシド(TTIP)を原料として、高窒素・低酸素濃度下における多孔質 TiO₂ 層の作製、および色素増感太陽電池(DSSC)への応用を報告した^{1,2)}。本研究では、プラズマに磁場を印加して 3 次元的な制御を行うことで、製膜時の基板への効率的なプラズマ照射を実現し、DSSC の高効率化を試みた。

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 原料溶液とした。さらに、TTIP と過酸化水素水を所定濃度比で混合し、TTIP 溶液を調製した。次に、150 °C の FTO ガラス基板上に TiO₂ 原料溶液をスプレー熱分解(SPD)法により噴霧・堆積後、TTIP 溶液に 30 分間浸漬した。続いて、自作した電極と多孔質 TiO₂ 層間を 0.1 mm に固定し、0.17 T の磁場下において、N₂/O₂=99.8/0.2 雰囲気中で非平衡プラズマを発生させ、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、10 μm 厚の多孔質 TiO₂ 層を作製した。また、FTO ガラス基板と第 1 層目の TiO₂ 層との密着性を向上させるため、1 サイクル目で 3.3 μm、2 サイクル目で 6.7 μm を積層させた多孔質 TiO₂ 層をあわせて作製した。これらの多孔質 TiO₂ 層を利用して DSSC を作製し、*J-V* 曲線による電池特性、および電気化学インピーダンス測定による各層の内部抵抗の変化をそれぞれ調査した²⁾。

3. 結果と考察

0.17 T の磁場下でのプラズマの分布状態を Fig.1 に示す。磁場印加によりプラズマにローレンツ力が作用し、空間的な広がり観測された。各条件で作製した DSSC の電池特性、および内部抵抗を Table 1 に示す。ここで、*R*₁(FTO/多孔質 TiO₂ 層)、*R*₂(多孔質 TiO₂ 粒界)、および *R*₃(多孔質 TiO₂/色素/電解液)の界面抵抗について検討する³⁾。(5+5) μm の多孔質 TiO₂ 層から形成されたセルにおいて、磁場印加により *R*₂ と *R*₃ が大きく低下し、短絡電流密度の上昇が観測された。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、TiO₂ 層のバルクに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。さらに、(5+5) μm と(3.3+6.7) μm のセルを比較すると、磁場印加の有無に関わらず、後者の *R*₁ の値が低下した。これは、FTO/多孔質 TiO₂ 層界面の密着性が向上し、セル内での効率的な電荷輸送が実現したことを示している。

以上より、非平衡二次元プラズマを利用した DSSC の作製において、プラズマの 3 次元的制御だけでなく、多孔質 TiO₂ 層の積層手順をあわせて考慮することが、セルの変換効率の向上に有効な手段であるとがわかった。

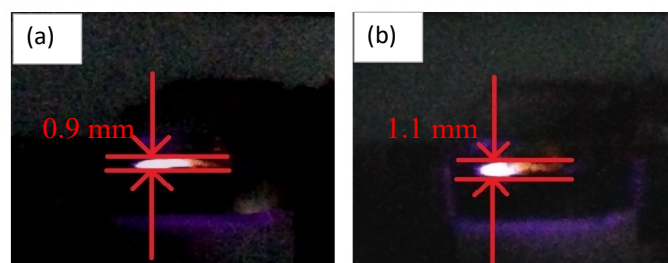


Fig.1 Plasma distribution with applying magnetic field; (a) no field, and (b) 0.17 T.

Table 1 Photovoltaic and electrical characteristics of DSSCs fabricated with a porous-TiO₂ layer deposited by various conditions.

Atmosphere	N ₂ /O ₂ =99.8/0.2			
Magnetic field(T)	-		0.17	
TiO ₂ thickness (μm)	5+5	3.3+6.7	5+5	3.3+6.7
<i>R</i> ₁ (Ω)	44	18	56	18
<i>R</i> ₂ (Ω)	260	32	90	32
<i>R</i> ₃ (Ω)	356	134	156	104
<i>J</i> _{sc} (mA/cm ²)	2.6	4.2	4.4	6.1
<i>V</i> _{oc} (V)	0.74	0.76	0.77	0.75
<i>FF</i>	0.74	0.70	0.63	0.69
<i>η</i> (%)	1.4	2.3	2.1	3.2

1)眞弓 他, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 21p-C310-2 (2019).

2)眞弓 他, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 21p-C310-1 (2019).

3)T.Hoshikawa et al., *J. Electrochem. Soc.*, 152, E68-73 (2005).