

FTO 透明導電膜の粒成長によるヘイズ率の制御と 色素増感太陽電池の高効率化

High haze FTO films by a grain growth for a high-performance dye-sensitized solar cell

静岡大院工, °新野 萌, 久保田 祐紳, 山下 佑海, 奥谷 昌之

Shizuoka Univ., °Moe Niino, Yoshinobu Kubota, Yumi Yamashita, Masayuki Okuya

E-mail: tcmokuy@shizuoka.ac.jp

1. 緒言

本グループでは、FTO 透明導電膜のヘイズ率を制御し、入射光の有効利用による色素増感太陽電池(DSSC)の高効率化を研究している。これまでに、微粒子層上に FTO 層を堆積させた二層構造の FTO 膜を作製し、その高ヘイズ化を報告している。しかし、微粒子層を含む二層構造は基板に対する密着性に乏しいため、本研究では、FTO 単層膜の厚膜化により粒成長を促進させることでヘイズ率を制御し、DSSC の高効率化を検討した。

2. 実験方法

0.1 M の $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ エタノール溶液と 8 M の NH_4F 水溶液を混合し、前駆体溶液を調製した。次に、スプレー熱分解 (SPD) 法により 450 °C に予熱したガラス基板上に前駆体溶液を噴霧し、FTO 膜を作製した。この際、噴霧回数を変化させて FTO 膜の膜厚を変化させることにより、ヘイズ率を制御した。次に、 TiO_2 ゼル (STS-02, 石原産業(株)) と TiO_2 微粒子 (P25, Degusa) の混合溶液を調製し、これを 120 °C に予熱した FTO 膜上に SPD 法で噴霧して多孔質 TiO_2 層を堆積後、500 °C で 30 分間焼成した。さらに、この TiO_2 層に N719 色素を吸着させ、作用極を作製した。最後に、白金対電極と作用極を組み合わせ、電極間に I^-/I_3^- 電解液を注入してセルを完成させた。セルの特性評価は、疑似太陽光下 (AM-1.5, 100 mW/cm^2) で行った。また、インピーダンス測定は、0.1 sun の照射下で行った。

3. 結果と考察

本研究で作製した FTO 膜の光学特性、およびそれらを利用して作製した DSSC の電池特性を Table 1、および Fig.1 にそれぞれ示す。FTO 膜の厚膜化にともない透過率が 82.0 % から 77.4 % へ低下したが、ヘイズ率は 12.4 % から 37.3 % へ上昇した。また、全ての FTO 膜で基板への密着性の向上が確認された。

次に、これらの FTO 膜を利用して作製したセルの電池特性について議論する。ヘイズ率が上昇するにつれて短絡電流密度 (J_{sc}) が増加し、ヘイズ率 33.4 % のとき最大 12.9 mA/cm^2 を示し、変換効率 (η) も最大 5.6 % を示した。また、IPCE もヘイズ率の上昇とともに全波

長領域において向上した。これは、ヘイズ率の上昇により光散乱効果が大きくなり、入射光の吸収が増加したことを示している。以上より、FTO 膜の高ヘイズ化により、高い変換効率が得られる可能性が示された。しかし、ヘイズ率をさらに上昇させると、厚膜化による膜自身の光吸収の増加により透過率が低下し、 J_{sc} 、 η がともに低下した。これらの結果は微粒子型¹⁾に比べ低く、さらなる高効率化には透過率とヘイズ率のバランスを考慮した FTO 膜を設計することが不可欠である。

Table 1 Optical properties of FTO films and photovoltaic parameters of DSSCs fabricated with the films.

Transmittance(%)*	82.0	81.1	78.3	77.4
Haze(%)*	12.4	21.8	34.0	37.3
$J_{\text{sc}}(\text{mA}/\text{cm}^2)$	11.0	10.6	12.9	11.6
$V_{\text{oc}}(\text{V})$	0.69	0.69	0.71	0.71
FF	0.64	0.67	0.61	0.64
$\eta(\%)$	4.9	4.9	5.6	5.2

*Average value in the visible region with a glass substrate.

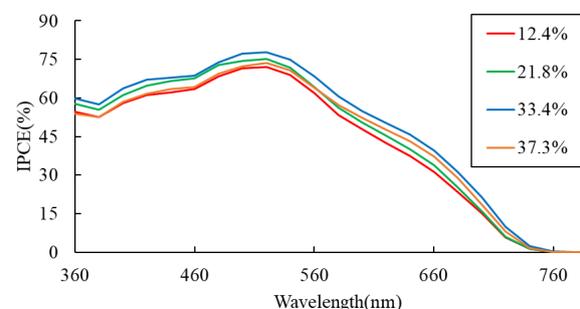


Fig.1 IPCE spectra of DSSCs fabricated with FTO films with various hazes.

1. まとめ

本研究は、FTO 膜の厚膜化によりヘイズ率を制御し、入射光の有効利用による DSSC の高効率化を目指した。その結果、厚膜化により粒成長が促進され、ヘイズ率を上昇させることができた。さらに、従来の二層型の膜で課題であった FTO 膜の基板への密着性を向上させることができた。しかし、FTO 膜の厚膜化によりヘイズ率が上昇して入射光の有効利用が促進された反面、膜自身の光吸収の影響が大きくなり、変換効率の低下が観測された。このため、透過率とヘイズ率のバランスを考慮した FTO 膜の設計が今後の課題である。

1)久保田他, 第67回応用物理学会春季学術講演会, 13a-D221-12(2020).