

## マイクロ波加熱法により作製された 色素増感太陽電池における FTO 透明導電膜のヘイズ率の影響

Effect of the haze in FTO film on the photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells prepared by a microwave heating technique

静岡大院工, <sup>○</sup>鈴木康介, 内藤貫太, 池谷綾斗, 奥谷昌之

Shizuoka Univ., <sup>○</sup>Kosuke Suzuki, Kanta Naito, Ayato Iketani, Masayuki Okuya

E-mail : tcmokuy@shizuoka.ac.jp

### 【緒言】

色素増感太陽電池の多孔質 TiO<sub>2</sub> 層を焼成する際、電気炉が一般に利用されているが、本研究ではマイクロ波加熱法に着目した。マイクロ波照射下で FTO 透明導電膜が誘電損失により発熱するため、TiO<sub>2</sub>/FTO 界面で集中的な発熱が起こる。前回、マイクロ波加熱法において、多孔質 TiO<sub>2</sub> 層の粒子間におけるネッキングの促進が観測され、この加熱法が色素増感太陽電池の作用極の作製に有効であることを報告した<sup>1)</sup>。そこで本研究では、色素増感太陽電池の作用極を構成する FTO 膜のヘイズ率を変化させることで、さらなる電池特性の向上を試みた。

### 【実験方法】

塩化スズ(IV)五水和物に所定量のフッ化アンモニウムを添加した前駆体を、ガラス基板上に SPD 法で堆積させた。この際、噴霧回数を変化させて膜厚を調整し、FTO 層の粒成長を促進することで表面形態を制御し、ヘイズ率を変化させた。さらに、この FTO 層上に多孔質 TiO<sub>2</sub> 層を低温 SPD 法で堆積し、TiO<sub>2</sub>/FTO 積層構造膜を作製した。次に、半導体式装置(富士電波工機(株) FSU-201VP-04)を用い、出力 15~30 W のシングルモード電界を 3 min、または 12 min 照射し、TiO<sub>2</sub> 層の焼成を行った。焼成後の積層膜に N719 色素を吸着させて作用極を作製し、白金対電極との間に  $\Gamma/\text{I}_3^-$  電解液を注入してセルを組み立てた。セルの電池特性評価、および内部抵抗のインピーダンス測定は、擬似太陽光(AM-1.5 100 mW/cm<sup>2</sup>)照射下でそれぞれ実施した<sup>2)</sup>。

### 【結果・考察】

各条件で作製されたセルの太陽電池特性、および電気化学インピーダンスの結果を Table 1 に示す。電池特性を比較すると、全てのセルで開放電圧( $V_{oc}$ )と曲線因子( $FF$ )はほぼ同程度であったため、ここでは短絡電流密度( $J_{sc}$ )と変換効率( $\eta$ )に着目する。各マイクロ波の出力において、ヘイズ率が上昇するにつれ  $J_{sc}$  の増加、および  $\eta$  の向上が確認された。最も顕著な変化があった出力 15 W、焼成時間 12 min において、 $J_{sc}$  が 7.7 mA/cm<sup>2</sup> から 10.5 mA/cm<sup>2</sup> へ上昇し、これにより  $\eta$  が 3.5 % から 5.0 % へ上昇した。これは、ヘイズ率の上昇により、セル内における入射光の光路長が延長され、光吸収が促進されたことを示している。このように、マイクロ波加熱法を利用したセルにおいて、高ヘイズの FTO 膜を利用することで、特性の向上が確認された。

次に、各セルの電気化学インピーダンスに着目する。ここでは、特に大きな変化が観測された  $R_1$  (FTO/多孔質 TiO<sub>2</sub> 界面抵抗)、および  $R_2$  (TiO<sub>2</sub> 粒子間抵抗)を示す。出力が 15 W から 30 W へ上昇するにつれ、全般的にセルの内部抵抗が低下した。さらに、ヘイズ率の上昇によって  $J_{sc}$  および  $\eta$  が上昇したセルにおいて、特に内部抵抗の低減が確認された。また電気炉 600 °C によるセルと 30 W のマイクロ波加熱(基板到達温度 600 °C)によるセルを比較すると、前回の報告と同様、後者の方が低い内部抵抗を示した<sup>1)</sup>。この結果、マイクロ波加熱法による FTO 層と TiO<sub>2</sub> 層の密着性の向上、および TiO<sub>2</sub> 粒子間のネッキングの促進による効果が確認された。今後、ヘイズ率の最適化によりさらなる電池特性の向上が期待される。

Table 1 Photovoltaic parameters of dye-sensitized solar cells (DSSCs) prepared by a microwave heating technique. A conventional heating by an electric furnace was conducted as a reference. \*The bracket shows the substrate temperature directly measured in a microwave irradiation.

Haze (%)	Furnace		Microwave							
	-		1.5				30.0			
Output (W)	-		15		30		15		30	
Temp. (°C)	600		(350)*		(600)*		(350)*		(600)*	
Time (min)	3	12	3	12	3	12	3	12	3	12
$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	8.1	12.1	5.0	7.7	9.0	12.4	8.9	10.5	10.2	11.8
$V_{oc}$ (V)	0.67	0.67	0.69	0.66	0.68	0.67	0.65	0.67	0.71	0.69
$FF$ (-)	0.70	0.72	0.71	0.68	0.72	0.69	0.66	0.71	0.74	0.71
$\eta$ (%)	3.8	5.8	2.5	3.5	4.5	5.8	3.9	5.0	5.3	5.8
$R_1$ ( $\Omega$ )	24	8	17	10	6	5	14	11	6	4
$R_2$ ( $\Omega$ )	34	14	64	36	10	9	50	12	10	12

1) 鈴木他, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 9a-W323-2 (2018).

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