# 赤外・マイクロ波ハイブリッド加熱による多孔質 TiO2 層の焼成と 色素増感太陽電池への応用

# Porous TiO<sub>2</sub> layer deposited by a hybrid of infrared and microwave heating for dye-sensitized solar cells

静岡大院工<sup>1</sup>,ブダペスト工科経済大<sup>2</sup>, <sup>0</sup>池谷 綾斗<sup>1</sup>, 青山 貴裕<sup>1</sup>,

ヴィオラ ナジャージ<sup>2</sup>, ヤーノシュ マダラス<sup>2</sup>, 奥谷 昌之<sup>1</sup>

## Shizuoka Univ.<sup>1</sup>, Budapest Univ. Tech. Eco.<sup>2</sup>, <sup>O</sup>Ayato Iketani<sup>1</sup>, Takahiro Aoyama<sup>1</sup>,

Viola Nagygyörgy<sup>2</sup>, János Madarász<sup>2</sup>, and Masayuki Okuya<sup>1</sup>

### Email: tcmokuy@shizuoka.ac.jp

#### 【諸言】

色素増感太陽電池(DSSC)の作用極は TiO<sub>2</sub>/FTO 積層構造を有するが、FTO 層がマイクロ波照射下に おいてこれを吸収して発熱することから、この現象を新規アニーリング法として利用することができ る。さらに、マイクロ波による局所加熱効果を利用することで、TiO<sub>2</sub>/FTO 界面の密着性の向上だけで なく、TiO<sub>2</sub>粒子間でのネッキングの促進が期待される。本研究ではこのマイクロ波加熱法を利用して DSSC 作用極の作製を行った。

【実験方法】

ガラス基板上に SPD 法により FTO 層、多孔質 TiO<sub>2</sub> 層を順に堆積し、TiO<sub>2</sub>/FTO 積層構造膜を作製し た。次に、シングルモードマイクロ波装置の電場の腹の部分に基板を配置し、出力 15-30W で 12 分間 マイクロ波を照射した。なお、一部のサンプルに対し、赤外線照射により事前に基板を 150 °C に加熱 した状態でマイクロ波を照射する『ハイブリッド法』を採用した。最後に、この積層膜に 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 I/I<sub>3</sub> 電解液を注入して DSSC セルを組み立てた。セ ルの特性評価は、擬似太陽光(AM-1.5、100 mW / cm<sup>2</sup>)照射下で実施した。

【結果・考察】

各アニール条件で作製された TiO<sub>2</sub>層の表面形態を図1に示す。出力 15 W(到達基板温度 400 ℃)のマ イクロ波照射により作製された膜(A)と電気炉 500 ℃ で作製された膜(C)を比較すると、表面形態に大 きな変化は確認されなかった。一方、出力 30 W(到達基板温度 650 ℃)のマイクロ波照射により作製さ れた膜(B)では、粒子間でのネッキングが進行し、(A)および(C)に比べ粒径の増大が観測された。一方、 ハイブリッド法(出力 15W、到達基板温度 400 ℃)で作製された膜(D)では、膜(B)と同様な形態が観測さ れ、低出力のマイクロ波照射にも関わらず、高温の電気炉焼成と同様な膜を形成することができた。こ れは、赤外線による基板の事前加熱によりマイクロ波の吸収が促進され、低温での粒成長が促進され たことを示している。

各アニール条件で形成された TiO<sub>2</sub> 層を利用した DSSC セルの電気化学インピーダンス測定の結果、 およびセルパラメータを表1に示す。本研究では特に、大きな内部抵抗の変化が観測された  $R_0 \ge R_2$ について議論する。ここで、 $R_0$  はセルの直列抵抗、 $R_2$  は多孔質 TiO<sub>2</sub>の粒間抵抗をそれぞれ示す。 $R_2$ に着 目すると、マイクロ波出力 30 W により作製されたセルの方が電気炉のそれよりも低く、マイクロ波照 射時の TiO<sub>2</sub> 微粒子間のネッキングが短時間で促進されたことを示している。一方、全般的にマイクロ 波加熱により作製されたセルの  $R_0$ の値は電気炉のそれに比べ高かった。これはマイクロ波加熱の際、 発熱体である FTO 層の急速な温度変化により局所的に亀裂を生じたためと考えられる。また、マイク ロ波照射されたセルは、電気炉のそれに比べ短絡電流密度が低かった。これは FTO の亀裂による  $R_0$ の 増加の影響であると考えられる。一方、ハイブリッド法で作製したセルは低出力であるにも関わらず、 TiO<sub>2</sub>のネッキングの増大に伴う短絡電流密度や開放電圧の増加を確認することができた。今後、急速 加熱による亀裂防止を実現できれば、さらなるセル特性の向上が期待される。

> T p



Fig. 1 Surface morphology of  $TiO_2$  layers annealed by a microwave heating at (A) 15 W, (B) 30W, an electric furnace at (C) 500°C, and a hybrid heating at (D) 15W and 150°C.

able 1	Electrochemical	impedance	and pl	hotov	oltaic	para	ameters	of DSS	Cs
repared	by a microwave	heating at	15 W	and	30W,	an e	electric	furnace	at
00°C. ar	nd a hybrid heatin	g at 15W a	nd 150	)°C.					

	Microwave		Hyl	orid	Electric furnace	
Output (W) Temperature (°C)*	$\begin{array}{c} 15\\ 400 \end{array}$	$\begin{array}{c} 30 \\ 650 \end{array}$	$\begin{array}{c} 15\\ 400 \end{array}$	$\begin{array}{c} 30 \\ 650 \end{array}$	500	
$R_0(\Omega)$	10.1	13.9	10.8	13.5	5.6	
$R_2(\Omega)$	13.3	4.2	12.1	5.3	21.6	
$J_{\rm SC}({\rm mA/cm^2})$	7.6	9.1	6.1	11.6	9.6	
$V_{\rm OC}({ m V})$	0.68	0.71	0.67	0.71	0.68	
FF	0.71	0.71	0.72	0.71	0.71	
η(%)	3.7	4.2	2.9	5.8	4.6	

\*Substrate temperature directly measured in annealing.