

酸素欠損型 FTO 透明導電膜上への多孔質 TiO₂ 層のマイクロ波焼成と 色素増感太陽電池への応用

Deposition of the porous TiO₂ layer by a microwave heating on an FTO transparent
conductive film with an oxygen defect for dye-sensitized solar cells

静岡大院工, [○]小西直磨, 内藤貫太, 鈴木康介, 奥谷昌之

Shizuoka Univ., [○]Naoma Konishi, Kanta Naito, Kosuke Suzuki, Masayuki Okuya

E-mail : tcmokuy@shizuoka.ac.jp

【諸言】

色素増感太陽電池用の多孔質 TiO₂ 層の焼成の際、電気炉が一般に利用されているが、本研究グループでは、マイクロ波を利用した焼成を報告している¹⁾。マイクロ波照射下で TiO₂/FTO 界面で集中的な発熱が生じるため、両層の密着性の向上だけでなく、TiO₂ 粒子間のネッキングの促進が期待される。本研究では、FTO 透明導電膜に還元アニールを施して局所的に酸素欠陥を導入し、マイクロ波照射下における発熱作用を高めた。さらに、この手法により作製した多孔質 TiO₂ 層を色素増感太陽電池へ応用した。

【実験方法】

フッ化アンモニウムとジ-*n*-ブチルスズジアセテートの混合溶液を調製し、スプレー熱分解 (SPD) 法により FTO 透明導電膜をガラス基板上に堆積した。この FTO ガラスに対し、水素雰囲気下 600 °C で 3~12 h の還元アニール処理後、基板温度約 150 °C の低温 SPD 法で多孔質 TiO₂ 層を堆積し、TiO₂/FTO 積層構造を作製した。次に、マイクロ波実験装置(富士電波工機(株), FSU 201VP-04)を用い、出力 15 W のシングルモード電界を 3 min 照射し、焼成を行った。最後に、多孔質 TiO₂ 層に N719 色素を吸着後、白金対電極と重ね合わせ、電極間に I⁻/I₃⁻ 電解液を注入してセルを完成させた。電池特性の評価、および電気化学インピーダンス測定は、疑似太陽光 (AM-1.5, 100 mW/cm²) 照射下で行った。

【結果・考察】

Fig. 1 にマイクロ波照射下における FTO ガラスの温度変化を示す。還元処理した FTO ガラスで急激な温度変化が観測され、約 1 分で基板温度が最高 190 °C に達成することが分かった。これは、還元アニールによって FTO 透明導電膜に発生した酸素欠陥による局所的な結晶構造の乱れにより、マイクロ波照射下での誘電損失が増大し、発熱量が増加したためと考えられる。次に、Table 1 に各条件の FTO ガラス上に堆積した多孔質 TiO₂ 層を利用した DSSC の電気化学インピーダンス、および太陽電池特性を示す。ここでは、特に大きな変化が観測された

R_1 (TiO₂/FTO 界面抵抗)、および R_2 (TiO₂ 粒子間抵抗) を示す。還元処理した FTO ガラスを利用したセルにおいて、短絡電流密度 (J_{sc}) が上昇するとともに、変換効率 (η) も同時に上昇し、基板温度が 190 °C、3 min の焼成であるにもかかわらず、変換効率が 5.1 % に達した。これは TiO₂/FTO 界面の密着性の向上、および TiO₂ 微粒子間のネッキングの進行により、セル内での電荷の再結合が抑制されたことを示している。一方、12 h の還元処理した FTO ガラスを利用したセルにおいて、 R_2 の上昇により短絡電流密度 (J_{sc}) が低下した。これはマイクロ波照射下での急激な温度変化により、多孔質 TiO₂ 層内に局所的なクラックが発生したことが原因と考えられる。

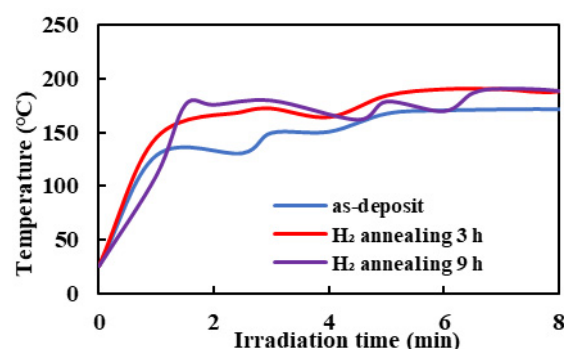


Fig.1 Substrate temperature of the FTO glasses as a function of the microwave irradiation time at 15 W.

Table 1 Photovoltaic parameters of DSSCs fabricated with the porous TiO₂ layer by a microwave heating technique.

FTO	as-deposit ¹⁾	H ₂ annealing (h)		
		3	9	12
J_{sc} (mA/cm ²)	5	12.6	14.2	10.9
V_{oc} (V)	0.69	0.58	0.6	0.63
R_1 (Ω)	17	8	7.6	7.8
R_2 (Ω)	16	23	17.2	22.6
FF	0.71	0.59	0.6	0.67
η (%)	2.5	4.3	5.1	4.6

1) 鈴木 他, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 9a-W323-2, 2019.