

パルス変調型誘導熱プラズマを用いた TiO_2 ナノ粒子

生成時における熱プラズマトーチ部の二次元分光観測

Two-Dimensional Spectroscopic Observation Plasma Torch during TiO_2 Nanopowder Synthesis using Pulse-Modulated Induction Thermal Plasmas金沢大¹, 日清製粉グループ本社²○児玉直人¹, 北健太郎¹, 田中康規¹, 上杉喜彦¹, 石島達夫¹, 渡邊周², 中村圭太郎²Kanazawa Univ.¹, Nisshin Seifun Group Inc.²○N.Kodama¹, K.Kita¹, Y.Tanaka¹, Y.Uesugi¹, T.Ishijima¹, S.Watanabe², K.Nakamura²E-mail: me131027@ec.t.kanazawa-u.ac.jp, tanaka@ec.t.kanazawa-u.ac.jp

現在, TiO_2 ナノ粒子は光触媒材料, 色素増感型太陽電池材料および顔料などに用いられている. TiO_2 に金属をドーピングした Metal-doped TiO_2 ナノ粒子は, TiO_2 ナノ粒子と比較してエネルギーバンドギャップが狭くなることから可視光下でも作用する光触媒材料として期待されている. さらに Al-doped TiO_2 ナノ粒子は外用剤として軟膏剤に混成することで, アトピー性皮膚炎などの皮膚炎治療薬として有効であることが報告されている[1]. 筆者らはこれまでに, パルス変調型誘導熱プラズマ (PMITP) に, 熱プラズマの変調に同期して大量の原料を間歇的に供給し, さらにクエンチングガスを導入する手法を考案した. これにより, 粒径が制御された Al-doped TiO_2 ナノ粒子を, 約 400 g/h という高い生成効率で生成可能であることを見出している[2]. 本報告では, TiO_2 ナノ粒子の生成時における熱プラズマトーチ部分の二次元分光観測を, 高速度カメラおよび二次元画像分光器を用いて行った.

実験条件として以下の様に設定した. 熱プラズマへの平均入力電力を 20 kW とした. シースガスには $\text{Ar} + \text{O}_2$ を用い, 総流量 100 slpm, 流量組成 90% $\text{Ar} + 10\%\text{O}_2$ とした. 原料のキャリアガスは Ar であり, 流量を 4 slpm に設定した. 原料は, 平均粒径が約 27 μm の Ti 粉体である. このとき原料の供給量は 4-7 g/min であり, これを連続的に熱プラズマに供給した. 変調時におけるコイル電流の変調周期を 15 ms, 変調条件を 60%SCL-80%DF とした. 分光観測位置を熱プラズマトーチのコイル直下 50 mm 程度の範囲とした. 分光器の波長分解能は 0.4 nm である. 以上の条件下で Ar (811.53 nm), O (777.54 nm), Ti (453.32 nm) および TiO (615.91 nm) スペクトル放射強度の二次元分布の時間変化を観測した. 高速度カメラの撮影スピードを 3000 fps とした.

Figure 1 に, 分光観測結果を示す. 同図において (a) は On-time 時(時刻 6 ms), (b)は Off-time 時(時刻 13.5 ms)の分光観測結果である. ここで On-time への立ち上がり時点を 0 ms とした. On-time 時においては Ar や O スペクトル線の放射強度が強く測定されている. 一方 Off-time 時にはそれらが検出されていない. このことから, コイル

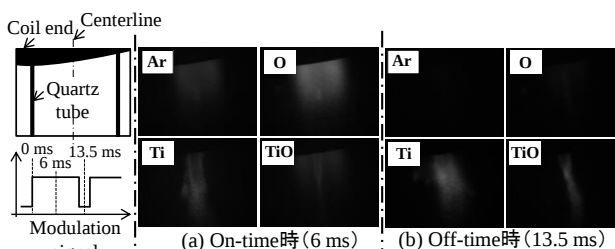


Figure 1 二次元分光観測結果

電流の変調に伴い PMITP の温度場が高低を繰り返していることが推定できる. Ti スペクトル放射強度も熱プラズマの変調に追従して変化している. しかしその強弱のタイミングが Ar や O のものと異なる. これは, 原料が PMITP 中で蒸発し, Ti 原子密度が上昇するプロセスと Ti 励起温度が上昇するプロセスの両方の競合で Ti スペクトル放射強度が決まるためと考えられる. さらに TiO では, TiO が生成される過程が反映される. コイル直下においても TiO スペクトルの放射強度が強く観測されている. このことからコイル直下付近において TiO の形成が行われているものと推定される.

[1] M. Mio, M. Kogoma, H. Fukui, A. Takeda, Chemical Eng., 55, 603 (2010)

[2] Y. Tanaka, T. Tsuke, W. Guo, Y. Uesugi, T. Ishijima, S. Watanabe, K. Nakamura, ISPC-21, OR, 52 (2013)