Ar 誘導熱プラズマへの Ti 原料投入時における トーチ内の Ti 励起温度および Ti 蒸気混入率の二次元分布の推定

Two-dimensional estimation of Ti excitation temperature and Ti vapor admixture ratio

in the torch during Ti feedstock injection into the Ar induction thermal plasmas

⁰兒玉直人¹,石坂洋輔¹,清水光太郎¹,田中康規¹,上杉喜彦¹,石島達夫¹,

末安志織²,渡邉周²,中村圭太郎²(金沢大院自然¹,日清製粉グループ本社²)

^oN. Kodama¹, Y. Ishisaka¹, K. Shimizu¹, Y. Tanaka¹, Y. Uesugi¹, T. Ishijima¹,

S. Sueyasu², S. Watanabe², K. Nakamura² (Kanazawa Univ.¹, Nisshin Seifun Group Inc.²)

E-mail: n_kodama@stu.kanazawa-u.ac.jp, tanaka@ec.t.kanazawa-u.ac.jp

誘導熱プラズマ(ICTP)を用いた材料生成プロ セスにおいては,ICTP 中に固液もしくは気相の 原料を投入し,蒸発させることで目的とする生成 物の前駆体を生成する.原料として特に金属材料 を用いた条件では,熱プラズマへの金属蒸気の混 入は導電率などの熱プラズマの物性や性状に多 大な影響を与える.この事から,ICTP を用いた 材料処理プロセスの制御においては,トーチ内に おける原料蒸気の空間的な分布の検討が必要不 可欠である.本報告では,ArICTPトーチへのTi 原料投入時におけるトーチ部の二次元分光観測 (2-D OES)の結果から,ICTPトーチ内のAr-Ti 混 合気相中における Ti 蒸気混入率の二次元分布を 推定した結果を述べる.さらに,Ti 原子の数密度 分布の推定結果を述べる.

ICTP の生成条件は、以前に報告した通りであ る[1]. Ar-ICTP に対して Ti 原料粉体を連続的に トーチ内に投入した. この時の ICTP トーチから の放射を,二次元分光観測系を用いて画像分光観 測した.分光観測に用いた分光系は,以前報告し た通りである[2]. 観測領域を、コイル終端下の 領域とした.二本のTiIスペクトルとして,波長 453.32 nm(4s-4p) および 521.04 nm (4s²-4s4p)を観 測した. さらに, Ar I スペクトルとして, 波長 811.53 nm を観測した. 高速度ビデオカメラの撮 影速度を, 1000 fps とした. Ti 励起温度(T_{ex}^{Ti})お よび Ti 蒸気混入率(X_{Ti})の推定において、熱平衡 状態および圧力が 300 torr 一定であると仮定した. ここで、 X_{Ti} は、 $X_{\text{Ti}}=(M_{\text{Ti}}+M_{\text{Ti}^{2+}})\times 100 \text{ [mol%]}$ で定義される量である.上式において *M*_T, *M*_T および MT²⁺はそれぞれ Ti 原子, Ti⁺イオンおよび Ti²⁺イオンのモル分率である.二本のTiIに対す る二線強度比較法により、 T_{ex}^{Ti} を計算した. Ti I@521.04 nm および Ar I@811.53 nm の放射強 度から, 放射強度比 ITi@521/IAr @811 を求めた. また,

同原子スペクトルの放射係数比 $\epsilon_{Ti@521} / \epsilon_{Ar@811}$ を温度および X_{Ti} の関数として計算した.分光観 測から得られた T_{ex}^{Ti} および $I_{Ti@521} / I_{Ar@811}$ と $\epsilon_{Ti@521} / \epsilon_{Ar@811}$ を比較することでトーチ内の X_{Ti} 二次元分布を推定した.

Fig.1 は, T_{ex}^{Ti}二次元分布および X_{Ti}二次元分布 の推定結果である. 温度 2.5 kK 以下の領域は Ti I 放射強度が低く計算が行えないため、そこを黒 で示した. r~0 mm が原料供給用プローブ設置 位置(トーチ中心軸)である. 同図(a)から, on-axis 領域(r~0mm 近傍)では温度が 2.5 kK-5.0 kK で あり, off-axis 領域では温度が約 4.5-7.5 kK に推 定された. On-axis 領域の温度と比較して off-axis 領域の温度が高く推定された原因として は、ジュール加熱の影響が考えられる。同図(b) から, X_{Ti} はon-axisで 10^{-9} - 10^{-3} mol%であり, off-axis では 10⁻⁵-10⁻¹mol%と推定された. また, on-axis におけるX_{Ti}はトーチ上流域よりも下流域におい て高く推定された.以上の推定結果から,トー チ下流域や温度が高い off-axis 領域において Ti 原料は主に蒸発されると考えられる. 参考文献

- [1] N. Kodama, et. al., ICPP-2016, B3P1-4 (2016)
- [2] 兒玉直人 他, 第 77 回応用物理学会秋季学術 講演会, 16a-B7-2 (2016)



Fig.1 2-D estimation results for T_{ex}^{Ti} and X_{Ti}