

## 酸素の解離・電離反応を考慮したループ型Ar/O<sub>2</sub>誘導熱プラズマに対する 3次元2温度反応非平衡電磁熱流体解析

### Three-dimensional two-temperature chemically non-equilibrium thermofluid simulation for a loop-type Ar/O<sub>2</sub> induction thermal plasma considering oxygen ionization and dissociation reactions

不破知哉<sup>\*1</sup>, 原弘也<sup>1</sup>, 田中康規<sup>1</sup>, 中野裕介<sup>1</sup>, 石島達夫<sup>1</sup>,  
幸本徹哉<sup>2</sup>, 川浦廣<sup>2</sup>

Tomoya Fuwa<sup>\*1</sup>, Hiroya Hara<sup>1</sup>, Yasunori Tanaka<sup>1</sup>, Yusuke Nakano<sup>1</sup>, Tatsuo Ishijima<sup>1</sup>  
Tetuya Yukimoto<sup>2</sup>, Hiroshi Kawaura<sup>2</sup>

<sup>1</sup>金沢大学, <sup>2</sup>株式会社シー・ヴィー・リサーチ

<sup>1</sup> Kanazawa University, <sup>2</sup> CV Research Corporation.

#### 1. まえがき

誘導熱プラズマは、近年材料処理への応用が期待されている。筆者らは、大面積・超高速表面改質を目指し、ループ型誘導熱プラズマ装置 (Loop-ICTP)を開発している [1]。本報告では、基板表面の一様な酸化処理を目的として、酸素の解離・電離反応を考慮したループ型Ar/O<sub>2</sub>誘導熱プラズマの3次元2温度反応非平衡電磁熱流体解析モデルを開発し、その解析を行った[2]。

#### 2. ループ型ICTP装置と数値解析条件

数値解析に用いたループ型ICTPモデルは、ループ部は内径8 mmφ、ループ径100 mmφの石英管および高さ52.5 mm、幅110 mm、深さ20 mmの石英容器から構成される。ガス導入口はトーチの上部、中央、左右側面の4箇所を設置されている。これらは水冷されているため、石英壁面温度を300 Kとした。トーチ上部の入口からArを300 Kで1 slpm, トーチ中央の入口から50%Ar/50%O<sub>2</sub>を300 Kで0.2 slpmで導入した。トーチ内圧力は10 torr, コイル電流は110 A<sub>rms</sub>, 周波数は360 kHzとした。

#### 3. 計算結果

図1に重粒子温度と電子温度分布, 図2に酸素分子と酸素原子の質量分率分布をそれぞれ示す。重粒子温度は、ループ管内では約1.2 kK, 基板上では約1.5 kKとなった。これは、基板上で酸素分子の解離にエネルギーを要したためである。このことは図2から、中央ガス導入口から供給された酸素分子が、熱プラズマによって酸素原子に解離し、基板端部 ( $|x| \geq 10$  mm) に分布したことからわかる。さらに、基板上的電子温度は約7 kKであり、ループ部よりも低くなったことから、酸素分子解離反応の一部は電子衝突解離によると考えられる。

以上から、酸素の解離・電離反応を考慮した本モデルを用い、基板上におけるラジカル分布を3次元で計算することができた。今後、本モデルを用い基板上にラジカルが多く分布する酸素流量やコイル位置を提案し、基板を高速かつ一様に酸化できるパラメータを模索する。

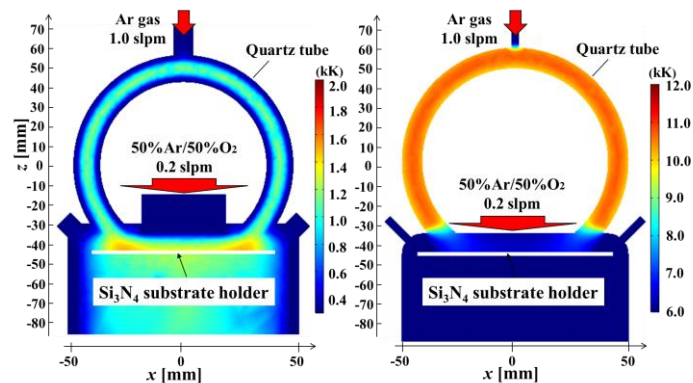


図1. 重粒子温度および電子温度分布

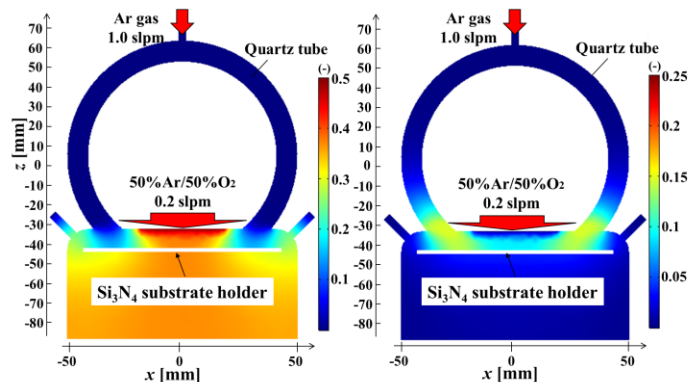


図2. 酸素分子および酸素原子の質量分率分布

#### 4. 参考文献

- [1] T. Tsuchiya et al., Plasma Chem Plasma Process., 38, 599-620, 2018  
[2] G. Ozeki et al., Plasma Chem Plasma Process., 41, 85-108, 2021