

# 低気圧 Ar プラズマの励起状態密度に与える 酸素分子混入効果の衝突輻射モデルに基づく考察

## Effect of Oxygen Admixture on Excited-State Number Densities

### of Low-Pressure Argon Plasma Based on Collisional Radiative Model

東工大工学院<sup>1</sup>, 東工大オープンファシリティセンター<sup>2</sup>, 東工大研究院<sup>3</sup>

○(M2)土谷 裕介<sup>1</sup>, 根津 篤<sup>2,3</sup>, 赤塚 洋<sup>3,1</sup>

Sch. Eng., Tokyo Tech<sup>1</sup>, Open Facility Center, Tokyo Tech<sup>2</sup>, IIR, Tokyo Tech<sup>3</sup>

○(M2)Yusuke Tsuchiya<sup>1</sup>, Atsushi Nezu<sup>2,3</sup>, Hiroshi Akatsuka<sup>3,1</sup>

E-mail: hakatsuk@lane.iir.titech.ac.jp

#### 1.はじめに

プロセスプラズマのコントロールにおいて、プラズマの電子温度  $T_e$  および電子密度  $N_e$  の計測は重要である。アルゴン衝突輻射モデル (ArCR モデル)<sup>[1]</sup>に基づいて、発光分光計測による  $T_e \cdot N_e$  診断を行う事は原理的に可能<sup>[2]</sup>であるが、実際のプラズマに診断モデルを適用する際、プロセスガス混入による影響が懸念される。

そこで本研究では、 $O_2$  混入による損失項を ArCR モデルに加筆し、低気圧 Ar プラズマの励起状態密度に生じる影響を考察した。

#### 2.ArCR モデルの改訂

$O_2$  混入効果として主に想定されるのが分子衝突による準安定状態 Ar の失活である。 $O_2$  による Ar のクエンチングレート係数は  $2.1 \times 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$  であると報告されている<sup>[3]</sup>。ここで、Ar に対する  $O_2$  の体積分率を  $O_2$  混入率( $O_2$  fraction)[%]として定義した。 $O_2$  混入率より導いた  $O_2$  数密度 [ $\text{cm}^{-3}$ ] をクエンチングレート係数に乗じることでクエンチング損失を求め、ArCR モデル内で準安定状態を示す準位(Level Number, LN) 2, 4 の損失項として加えることで、ArCR モデルを改訂した。

#### 3.計算概要

入力パラメータは ArCR モデルに基づき、圧力 =  $1.3 \times 10^2 \text{ Pa}$  (1 Torr), 原子温度 =  $4.3 \times 10^2 \text{ eV}$  (500 K), 電子エネルギー分布関数 (EEDF) = Maxwell 分布とした。 $T_e = 1.8 \text{ eV}$ ,  $N_e = 1.0 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$  とし、 $O_2$  混入率を 0~10%まで変化させて励起状態密度の計算を行った。対象の準位は 2~24 としている。また、 $O_2$  混入率 0%を基準としたときの  $O_2$  混入に対する励起状態密度の変化率を計算した。

#### 4.結果及び考察

$i$  を準位番号とする。Figure 1 より、準安定状態において  $O_2$  混入率の増加に伴う励起状態密

度の減少が確認できた。また、 $i$  (Racah 記号) = 2 ( $4s[3/2]_2$ ), 4 ( $4s'[1/2]_0$ )のみならず、低励起状態の励起状態密度についても同様に減少傾向が見られた。ただし、準位によってその影響に差があることが見出された。

Figure 2 は、特定の準位の  $O_2$  混入率に対する依存性を示す。例えば、 $i = 2, 4, 7$  ( $4p[3/2]_{1,2}$ ,  $[5/2]_{2,3}$ ), 16 ( $3d[3/2]_{1,[5/2]_{2,3}+5s}$ ) は  $O_2$  混入と共に大きな損失が見られたが、 $i = 5$  ( $4s'[1/2]_1$ ), 11 ( $4p'[1/2]_0$ ), 15 ( $5s'$ ) においてはそれほど大きな影響は生じていないといえる。

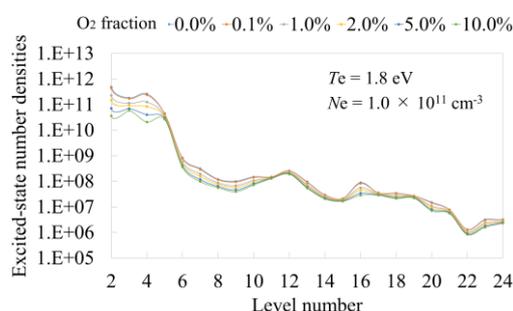


Fig.1 Excited-state number densities (LN = 2 to 24)

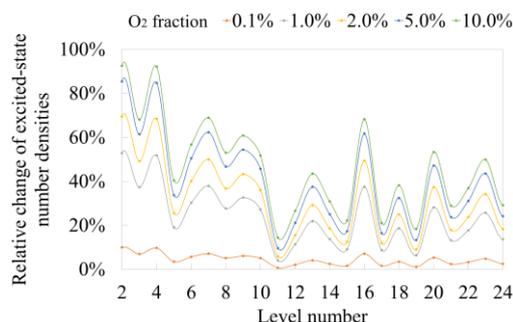


Fig.2 Relative change of excited-state number densities plotted against the  $O_2$  fraction (LN = 2 to 24)

#### 参考文献

- [1] J. Vlček, J. Phys. D **22** [5], 623 (1989).
- [2] Y. Yamashita, F. Yamazaki, A. Nezu and H. Akatsuka, Jpn. J. Appl. Phys. **58**, (2019) 016004.
- [3] L.G.Piper, J.E.Velazco, and D.W.Setser, J.Chem.Phys., **59**, 3323 (1973).