

衝突輻射モデルに基づく発光分光計測による アルゴンプロセスプラズマの診断のための原子過程モデル

Excitation kinetic model for argon process plasma diagnostics

by spectroscopic measurement based on collisional-radiative model

東工大工学院¹, 東工大研究院² ○(M2)山下 雄也¹, 赤塚 洋²

Tokyo Institute of Technology^{1,2}, ○Yuya Yamashita¹, Hiroshi Akatsuka²

E-mail: yamashita.y.an@m.titech.ac.jp

1.はじめに

半導体デバイス製造などに用いる低気圧放電によるプロセスプラズマにおいて、プラズマの電子温度 T_e および電子密度 N_e は、プロセス反応過程に大きな影響を与えるため、的確な計測が求められる。反応性プラズマの計測にプローブ法を用いるとプローブが汚染・損傷する。本研究では、発光分光計測による T_e, N_e 診断の確立のため、アルゴンプラズマを対象として原子過程モデルの検討を行ったので報告する。

2.衝突輻射モデルによる診断

衝突輻射モデルは T_e, N_e , 圧力 p などから、プラズマの励起状態数密度 n_i を求める数式モデルである。ここで i は準位番号[1]である。発光分光計測では、発光線強度から求めた n_i から T_e, N_e を求めることとなる。しかし、原子の素過程や準位が多岐に渡るため、 T_e, N_e の診断式の未知変数が多くなる。そのため、 n_i を入力として T_e, N_e を陽らかに得ることは、一般には難しい。したがって、原子の素過程を簡略化したモデルを作成した上で、診断式を決定する必要がある[2]。

3.原子過程モデルの作成

$p = 1.0 \text{ Torr}$ ($1.3 \times 10^2 \text{ Pa}$), 原子温度 $= 4.3 \times 10^2 \text{ eV}$ のもとで、下記の手順にしたがって、原子過程モデルを作成した。(1) 計測対象とする $1.0 \leq T_e [\text{eV}] \leq 4.0$, $1.0 \times 10^9 \leq N_e [\text{cm}^{-3}] \leq 1.0 \times 10^{12}$ を衝突輻射モデルに代入する。(2) 各 i について、ポピュレーションの最大値の 10% をしきい値とし、主要な素過程を抽出する。(3) 各 i について、ポピュレーションのつり合いの式を求める。(4) 原子衝突を無視したモデルにより、可視光計測により求められる n_i のみを変数とするポピュレーションのつり合いの式を求める。

4.結果と考察

$i(\text{Racah 記号})=24(6p')$ において、3.(3)および(4)

を求めたところ、それぞれ式(1), (2)を得た。式(2)では、 i (Racah 記号)=8 ($4p'[3/2]_{1,2}$), 19 ($5p'$), 21 ($4d'+6s'$), 24 ($6p'$), 26 ($5d'+7s'$), 30 ($7p'$) の準位が関与することが明らかになった。

$$\begin{aligned} \frac{dn_{24}}{dt} \simeq & C_{8,24}N_en_8 + C_{19,24}N_en_{19} + C_{21,24}N_en_{21} \\ & - (C_{24,26} + C_{24,30} + C_{24,36})N_en_{24} \\ & + F_{26,24}N_en_{26} + F_{30,24}N_en_{30} - F_{24,19}N_en_{24} \\ & - (K_{24,27} + K_{24,29})n_1n_{24} + L_{27,24}n_1n_{27} \\ & + L_{29,24}n_1n_{29} \simeq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{dn_{24}}{dt} \simeq & C_{8,24}n_8 + C_{19,24}n_{19} + C_{21,24}n_{21} \\ & - (C_{24,26} + C_{24,30} + C_{24,36})n_{24} + F_{26,24}n_{26} \\ & + F_{30,24}n_{30} - F_{24,19}n_{24} \simeq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

ただし C_{ij} , F_{ij} , K_{ij} , L_{ij} は、それぞれ準位 i から準位 j に遷移する、電子衝突励起・脱励起、原子衝突励起・脱励起過程の速度係数である。

本モデルの妥当性を検討するため、 T_e, N_e を式(2)に代入し dn_{24}/dt を求めたところ、 T_e, N_e が高くなるにつれて、右辺との誤差が大きくなった。

そのため、 T_e, N_e の範囲を分割し、各々の範囲に応じた原子過程モデルの作成を試みた。3.と同様の手順にもとづき、 $T_e = 1 \text{ eV}$ ごと、 $N_e = 1.0 \times 10^9 - 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ ごとに原子過程モデルを求めた。その結果、ポピュレーションの様相から、原子衝突を無視したモデルは、 $N_e \gtrsim 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ の範囲でのみ有効であることが明らかとなった。これより低電子密度の場合には、式(1)を用いることとなるが、その場合にはガス密度・ガス温度が必要で、さらに分光計測の難しい n_{29} の求め方も別途検討が必要となることも課題である。

参考文献

- [1] J. Vlček: J. Phys. D **22** (1989) 623.
- [2] K. Kano, M. Suzuki and H. Akatsuka: Plasma Sources Sci. Technol. **9** (2000) 314.