

水素負イオン源における水素原子密度分布解析 Numerical Analysis of Atomic Density Distribution in Negative Ion Sources

山本尚史¹、柴田崇統¹、柏木美恵子²、畑山明聖¹、澤田圭司³、花田磨砂也²
T. Yamamoto¹, T. Shibata¹, M. Kashiwagi², A. Hatayama¹, K. Sawada³, M. Hanada²
慶應理工¹、原子力機構²、信州大工³
Keio Univ.¹, JAEA², Shinshu Univ.³

1. 目的

表面生成型水素負イオン源において、負イオンは主に、Cs が蒸着された金属表面と水素原子との相互作用により生成される。そのため、負イオン源プラズマ中の水素原子密度分布形成メカニズムを明らかにすることは、負イオンの生成分布を理解するために非常に重要である。

水素原子密度分布を求めるためには、原子の解離生成、イオン化の反応レート、輸送損失を正確に求める必要がある。本研究では、その第一段階として原子の解離生成、イオン化の反応レートに着目した。従来研究^{1,2}において、中性粒子の電子衝突反応レートは、負イオン源プラズマの電子エネルギー分布関数(EEDF)にマクスウェル分布を仮定する場合が多い。しかし、負イオン源プラズマの EEDF は、マクスウェル分布に緩和していない高速電子成分を含むということが、先行研究³において指摘されている。解離生成、およびイオン化の反応レートは、高エネルギー領域で大きくなっている。水素原子の解離生成、イオン化の断面積を Fig. 1 に示す。したがって、水素原子密度分布形成メカニズムを明らかにするため、高速電子の非平衡性を考慮することは極めて重要である。そこで、本研究では、EEDF の非平衡性を考慮可能な衝突輻射(CR)モデル^{1,2}を開発し、負イオン源内の水素原子密度分布を計算する。

2. 手法

本研究では、JAEA10A 水素負イオン源⁴を解析対象とし、CR モデルを構築した。CR モデルの基礎方程式は、原子分子の各励起準位についてのレート方程式である。本モデルでは、自然放出、電子衝突による励起、脱励起、イオン化、解離反応を考慮した。反応レート計算に、先行研究³の3次元電子輸送解析から得た、非平衡 EEDF を用いた。JAEA10A 水素負イオン源内の高速電子の空間分布を Fig. 2 に示す。水素原子密度を計算するために、反応レートに加えて、輸送による空間的損失も考慮する必要がある。そこで、本研究では、簡単のため、空間における水素原子損失時間を一様に仮定することで輸送損失を評価した。

3. 結果

前節で示した CR モデルを用いて、JAEA10A 水素負イオン源内原子密度分布のテスト計算を行った。結果の一例として、ドライバー領域における水素原子密度分布を Fig. 3 に示す。計算条件として、水素分子密度分布を $2.8 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ 、水素原子の損失時間を $5 \times 10^{-5} \text{ s}$ として一様に与えた。結果より、水素原子密度分布はイオン源の長手方向上部、およびフィラメント近傍で大きくなっているとわかる。当日のポスターでは、CR モデルの計算結果より、EEDF の高速電子成分の分布と水素原子密度分布の関係について考察する。

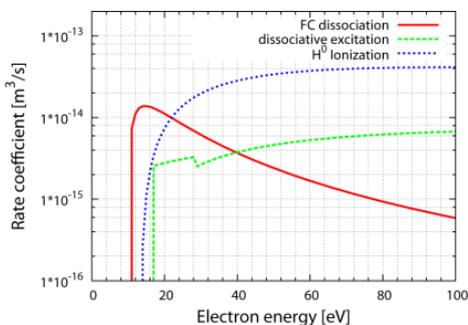


Fig. 1 原子分子過程の反応レート.

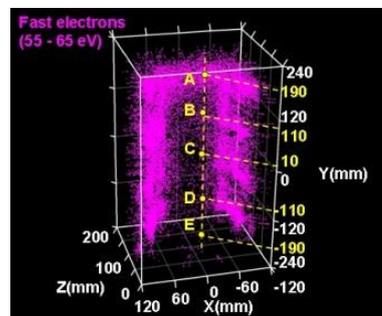


Fig. 2 高速電子の空間分布.

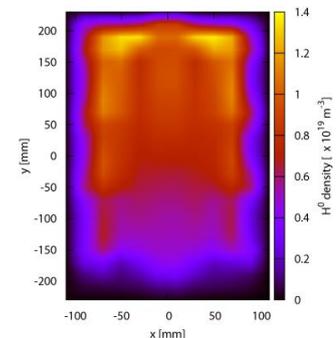


Fig. 3 原子密度の空間分布.

[1] K. Sawada, T. Fujimoto, J. Appl. Phys. 78, 2913, (1995).

[2] K. Sawada, T. Fujimoto, J. Phys. Rev. E 49, 5565-5573, (1994).

[3] T. Shibata, R. Terasaki, M. Kashiwagi, T. Inoue, M. Dairaku, *et al.*, AIP Conf. Proc. 1515, 177-186 (2013).

[4] N. Takado, H. Tobar, T. Inoue, J. Hanatani, A. Hatayama, *et al.*, J. Appl. Phys. 103, 053302 (2008).