

サーマルプローブ法による境界層プラズマの熱流・イオン温度計測法の開発

栗原 公紀, 四竈 泰一¹⁾, 門 信一郎²⁾, 松浦 寛人³⁾, 田中 知¹⁾

(東京大学システム創成学科, ¹⁾東京大学大学院システム量子工学専攻,

²⁾東京大学高温プラズマ研究センター, ³⁾大阪府立大学機械工学分野)

Stamateによって2002年に提案され[1]、松浦らによって2003年にイオン温度の計測が可能であると示唆されている[2]サーマルプローブ法を用い、境界層プラズマの熱流・イオン温度計測法の開発を試みる。我々のサーマルプローブ法では、プラズマ照射面の温度変化を測定するのではなく、プローブ中の温度勾配を測定する。プローブ中では定常状態において熱伝導が支配的であるため、熱流の釣り合いからプローブへと流入する熱流 Q_{ion} [W] は熱伝導の熱流と等しく、一方、シース理論からそれはイオン飽和領域におけるプラズマの熱流であるので[3]、次の式が成り立つ。

$$-\kappa \frac{\Delta T_p}{\Delta x} S = \frac{I_{is}}{e} \left[2kT_i(1-R_E) + e(V_s - V_p)(1-R_E) + e(E_{ion} - W) \right]$$

ここで、 I_{is} はイオン飽和電流、 R_E はプローブ材質のイオンに対するエネルギー反射率、 E_{ion} はイオン化エネルギー、 W は仕事関数である。 I_{is}/e はプローブへ毎秒流入するイオン数を、右辺括弧内の第一項はイオンのサーマル成分による熱流への寄与を、第二項はシースによる加速で得たエネルギーによる寄与を、第三項は表面再結合エネルギーによる寄与をそれぞれ表している。プローブ内の温度勾配の電圧特性を計測することでプラズマの熱流を測定し、イオン飽和領域において $Q-V$ 曲線に接する直線の傾きと切片より、イオン温度及びプローブ材質のエネルギー反射率を導出することができる。

本研究の実験は直線型ダイバータ模擬装置 MAP(material and plasma)-II にて行っている。現段階ではプローブとの素過程が単純な、単原子分子である He プラズマについて計測している。得られた熱流電圧特性を Fig. 1 に示す。

イオン飽和領域において、熱流計測の実験値は理論値よりも全体的に 0.15W 程度大きくなった。この差分であるオフセットを与える要因として、MAP-II プラズマのパラメータ[4]を考慮し、中性粒子ガスのプローブへの衝突の効果について評価したところ 0.10W 程度であり、無視できない素過程であるという結果を得た。

現状では中性粒子ガスの効果を確認するためにオフセットのガス圧依存性計測を行うなど、熱流に寄与する素過程の解明を行っている。

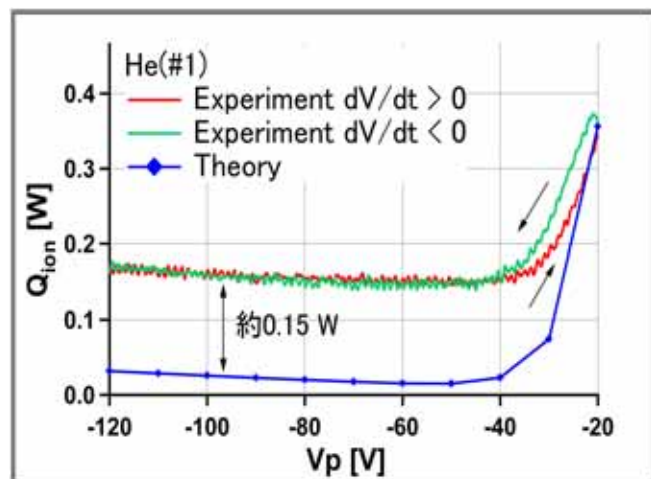


Fig. 1: 熱流電圧特性

[1] E. Stamate *et al.*: Appl. Phys. Lett. **80**, number.17, 3066(2002)

[2] H. Matsuura and K. Michimoto, Contrib. Plasma Phys. **44**, 677-682(2004)

[3] B. Koch *et al.*: J. Nucl. Mater. **290-293**, 653(2001)

[4] S. Kado *et al.*: J. Plasma Fusion Res. **81**, 810(2005)