

レーザー吸収分光法を用いた非接触プラズマ中の準安定ヘリウム原子温度測定 Measurement of metastable helium atom temperature in detached plasma using laser absorption spectroscopy

金森 裕也¹, 大嶋 啓嗣², 鷹野 大輝², 梶田 信³, 田中 宏彦², 大野 哲靖², 荒巻 光利¹
Yuya KANEMORI¹, Hiroshi OSHIMA², Hiroki TAKANO², Shin KAJITA³,
Hirohiko TANAKA, Noriyasu OHNO² and Mitsutoshi ARAMAKI¹

日大生産工¹, 名大院工², 名大未来研³
Nihon Univ.¹, Nagoya Univ.², IMaSS³

1 はじめに

磁場閉じ込め核融合炉の実用化に向けて、ダイバータの熱負荷の制御は重要な課題のうちの1つである。炉心プラズマから流出したプラズマ粒子束が直接ダイバータ板へ到達すると熱負荷は数百 MW/m²にもなり、ダイバータ板が損耗するため定常運転の妨げとなる。プラズマ-中性ガス相互作用による放射および荷電交換によりプラズマを冷却し、ダイバータ板に到達する直前の気相中で中性化する非接触プラズマの生成がダイバータの熱負荷制御の有力な方法と考えられている。非接触プラズマの生成には、電子温度を低く抑える必要がある。電子は中性粒子との衝突により冷却されるため、中性粒子の温度測定は非接触プラズマの研究において重要となる。我々は、直線型ダイバータ模擬試験装置である名古屋大学の NAGDIS-II を用いて電離進行プラズマから再結合プラズマへと遷移するプラズマを生成し、この遷移領域で準安定 He 原子の温度測定を行ったので報告する。

2 実験方法

Fig.1 に NAGDIS-II 装置とレーザー吸収分光システムの概略図を示す。プラズマは、放電領域内の LaB₆ ディスクカソードを使用して生成される。試験領域の長さは 2 m であり、ターゲットによって終端される。NAGDIS-II は放電領域と試験領域にターボ分子ポンプをそれぞれ備えており、非接触プラズマは試験領域内の圧力を増加させることで生成される。放電領域から 0.4 m 離れた上流、0.7 m 離れた中流、1.2 m 離れた下流域で準安定ヘリウム原子をレーザー吸収分光法で測定した。測定には準安定 He 原子の 2^3S-2^3P 遷移を励起可能な波長 1083 nm の DFB レーザーを用いた。DFB レーザーは線幅が数 MHz で、波長 1083 nm 内の 3 つの 2^3S-2^3P 遷移をカバーすることができるが、吸収断面積が $2^3S_1-2^3P_0$ 遷移と比較して数倍大きい $2^3S_1-2^3P_1$ と $2^3S_1-2^3P_2$ 遷移による吸収を観測した。ミラーなどの光学部品からの戻り光を遮断し、光源の不安定性や故障を防ぐために、光アイソレータを DFB レーザーの前に設置している。レーザー強度は吸収の飽和を避けるため 1/2 波長板と偏光ビームスプリッター (PBS) を用いて十数 μ W まで下げている。また、NAGDIS-II は磁場が 0.1 T 以上あるので、磁場によるゼーマン広がりを避けるため、レーザーの偏光は磁場と平行にしてプラズマに入射した。レーザーの透過光強度は InGaAs フォトダイオード (PD) で検出した。

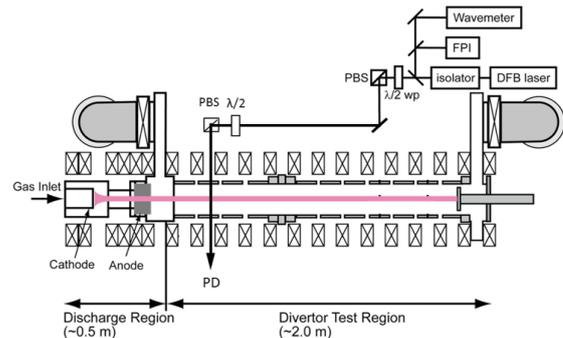


Fig.1 Experimental setup

3 実験結果

Fig.2 は上流・中流・下流域での準安定ヘリウム原子温度のガス圧力依存性を調べたものである。ガス圧は、排気速度は一定のまま、ガス流量を 200~350 scem の範囲で変化させることで制御した。ガス流量変化に対するガス圧力の制御範囲は 4~10 mTorr であり、放電電流は 30 A、電圧は 150 V で一定にした。上流域ではガス圧力を 10 mTorr から 4 mTorr に下げると、準安定ヘリウム原子温度も徐々に減少した。これは、ガス圧力の減少がプラズマ密度の減少に繋がり、電子及びイオンによる中性原子の加熱効果が減少したためと考えられる。一方、下流域では上流域の準安定ヘリウム原子温度よりも 1.5 倍程度高温となった。これは下流域では電子温度が低下し、イオンと電子の再結合が活発になり、再結合で生成されたイオン温度を反映する準安定 He 原子の割合が増加したためと考えられる。

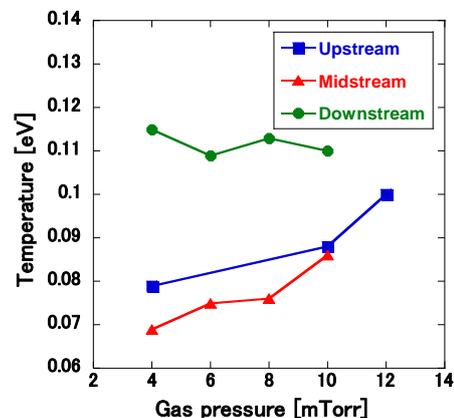


Fig.2 Gas pressure dependence of the metastable temperature