

アルファ粒子計測のための高速中性ヘリウムビーム開発

岡本敦、木崎雅志、ほか

東北大学大学院工学研究科

自律性の高い燃焼プラズマの制御のためアルファ粒子の空間分布・エネルギー分布を計測し、アルファ粒子の発生とエネルギー付与過程を診断することが次世代装置の重要な課題となる。ヘリウム中性粒子(He^0)ビームとの二重荷電交換反応を利用したアルファ粒子計測のために、我々は計測用の高速中性ヘリウムビーム開発を行ってきた。計測ビームには、二重荷電交換反応率の観点からビームエネルギー 1-2MeV が要求され、磁気軸近傍の計測を行うために基底状態原子から構成される電流 1mA 相当のビームが必要である。この計測ビームに必要な要素として、(1)大電流強集束正イオン源の開発、(2)ヘリウム負イオンビームの生成および自発脱離による中性化の実証、(3)高速中性ヘリウムビーム中の準安定状態/基底状態占有密度比診断手法の開発を行った。

(1) 大電流強集束正イオン源の開発：湾曲型多孔電極を有する実機サイズ正イオン源を製作し、20keV, 2A 程度のヘリウム正イオンビーム引き出しに成功した。湾曲型電極の曲率中心とほぼ等しい位置においてビーム径が最小となることを実証した。低エネルギー大電流のイオンビームでありながらビーム径 20mm を達成し、後段へ設置するアルカリ金属ガスセルのアパーチャ口径との両立性を実証した。

(2) ヘリウム負イオンビームの生成および自発脱離による中性化の実証：単孔 0.1mA ビーム実験で、リチウムとの荷電交換によりヘリウム正イオンビームから 1%程度の効率で負イオンビームを生成することに成功した。実機サイズ荷電交換セル設計に必要な荷電交換反応断面積の取得にも成功した。さらに、負イオンビームを 1-2MeV 級 RF 加速器へ導入する前段加速となる 100keV 級静電加速システムを構築し、600nA の負イオンビーム加速に成功した。静電加速システムの下流に 10m 程度の自由飛行空間を設け、負イオンの寿命に相当する飛行距離とともに中性ビーム割合が増加することを実証した。

(3) 高速中性ヘリウムビーム中の準安定状態/基底状態占有密度比診断手法の開発：ビーム減衰率から準安定状態/基底状態占有密度比を計測するために、100keV に加速され中性化したビームの入射ターゲットとして高密度プラズマ源を開発し、 $1 \times 10^{18} \text{ m}^{-2}$ 程度のヘリウムプラズマ生成に成功した。反応断面積データを収集し、ビーム減衰率と占有密度比の対応を調査した。また相補的な手法として、ビーム中の準安定原子密度を直接計測するレーザー吸収分光システムを開発し、計測下限密度の評価と性能向上を行った。

本研究は科研費特定領域研究「プラズマ燃焼のための先進計測」(2004-2009 年度)における計画研究の一部として実施された。