

超小型 AMS 装置に向けて発案した表面ストリッパの解離能力の検討 II

A Numerical Study on Dissociation Efficiency of Surface Stripper

Proposed for a Downsized AMS System II

日本原子力研究開発機構, °松原 章浩, 藤田 奈津子, 木村 健二

Japan Atomic Energy Agency (JAEA), °Akihiro Matsubara, Natsuko Fujita, Kenji Kimura

E-mail: matsubara.akihiro@jaea.go.jp

炭素-14(^{14}C)専用の AMS 装置の小型化技術は, イオンエネルギーが 50 keV 程度, 床面積が 2 m × 2 m 未満の装置の開発段階にある[1]. 小型化には, ^{14}C の測定を妨害する $^{12}\text{CH}_2$ や ^{13}CH 等の分子を解離するためのガスストリッパに起因した次の問題点が伴う. それは, ガスストリッパでの角度散乱の増大による検出効率の低下, さらにはガスストリッパからのガス流出によって真空度の悪化した偏向器領域での衝突過程によるバックグラウンドレベルの上昇である. イオンエネルギーを数十 keV まで低下させるとガスとの衝突で大角散乱の確率が高まりビーム広がりが増大する. この改善のため, 従来法ではタンデム加速器を使用しストリッパ通過後にイオンを再加速することが行われる. 筆者らは, ガスストリッパに代わるものとして, イオンと固体表面の相互作用に基づくいわば表面ストリッパを発案した[2]. イオンを単結晶表面に対し数度以内で斜入射させると, 表面原子の面ポテンシャルによって鏡面反射が生じうる. 表面の電子および原子との相互作用により妨害分子は解離すると期待される. さらに鏡面反射は, 大角散乱の抑制による検出効率の改善だけではなく, 表面ストリッパの耐久性に対しても有利である. この実用性を予測するため, 妨害分子の解離能力を数値的に検討している.

一連の検討では, イオン-表面相互作用の研究で使用例のあるテルル化スズ(SnTe)の単結晶の(001)面に, 数十 keV の質量数 14 の CH が数度の入射角で入射し, 表面電子との衝突により解離するという状況を想定している. 解離に至る経路は複数ありうるが, 前回の報告では, 分子がその衝突により反結合性状態 CH^* に励起し解離する寄与を評価した. この寄与は, 鏡面反射軌道に沿った線積分 $\exp\{-\int_{-\infty}^{\infty} \langle n_e \sigma \rangle ds\}$ (すなわち入射数に対する出射数の比) を指標とする解離能力で与えることができる. ここで $\langle n_e \sigma \rangle$ は, イオンの鏡面反射軌道上の電子密度 n_e とその励起断面積 σ の積であり, 括弧 $\langle \rangle$ は, 入射イオンの静止系における表面電子のエネルギー状態密度関数を考慮したエネルギーに対する平均を表す. 計算の結果, 本経路のみでは解離能力は実用化において望まれる 10^{-12} 程度には及ばず, σ の値に集約すれば その 7 倍程度が必要となることが判明した. 今回は, 解離への経路に正イオン分子 CH^+ を経るものを含めた. さらに, 表面電子によるクーロン場の遮蔽により分子結合が軟化する効果を取り入れた. この結果, 解離能力は入射角度 3.0° の場合, 入射エネルギーが 30 keV を超えると 10^{-12} を十分下回ることが分かった. これは, 50 keV 程度未満の超小型 AMS 装置において表面ストリッパが十分な解離能力を備える可能性を示す.

[1] H.-A. Synal, et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B 294 (2013) 349-352.

[2] A. Matsubara, et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B 437 (2018) 81-86.