超小型 AMS 装置に向けて発案した表面ストリッパーの解離能力の検討

A Numerical Study in Dissociation Efficiency of Surface Stripper Proposed for a Downsized AMS System

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 未満の装置を開発する段階に達した[1]．小型化には次の二つの問題点が伴う．一つは，ガスストリッパーに起因した真空度の悪化によるバックグラウンドレベルの上昇である．ガスストリッパーでは，^{14}C の測定を妨害する $^{12}CH_2$ や ^{13}CH 等の分子を解離するため，ガスを使用する．小型化するとストリッパーからビームラインに漏れるガスを排出する真空ポンプの設置空間が制限される．もう一つは，ガスストリッパーでの角度散乱の増大による検出効率の低下である．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ー通過後に再度加速することが行われる．筆者らは，ガスストリッパー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ーを発案した[2]．イオンを単結晶表面に対し数度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は，妨害分子の解離に結び付くと期待される．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，表面ストリッパーの耐久性に対しても有利である．

表面ストリッパーの実用性評価のため，妨害分子の解離能力を数値的に検討した．本計算では，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，エネルギー E= 45 keV の質量数 14 のイオンが 2.5°の入射角で入射する状況を想定した．分子解離に至る経路は複数あり得るが，ここでは，入射分子と表面電子との衝突により分子が反結合性状態に励起し解離するという寄与を評価した．この寄与は $e^{-n\langle\sigma\rangle}$（ここで，$n$は電子の面密度，$\langle\sigma\rangle$は平均解離断面積）を指標とする解離能力で与えることができる．面密度nは，イオンの鏡面反射の軌道に沿った電子密度の積分より得られ，$2.3\times10^{17}\mathrm{cm}^{-2}$となった．一方，平均解離断面積$\langle\sigma\rangle$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$D(E)$と反結合性状態を経る解離の断面積のエネルギー依存性$\sigma(E)$を用いて，$\int_{E_F}^{\infty}\sigma(E)D(E)dE/\int_{E_F}^{\infty}D(E)dE$（ここで，$E_F$はフェルミエネルギー）より$1.7\times10^{-17}\mathrm{cm}^2$となり，この結果，解離能力$e^{-n\langle\sigma\rangle}$は$10^{-2}$となった．したがって，実用化において望まれる解離能力10^{-12}を本経路のみから得るには$\langle\sigma\rangle$の値は算出された値の 7 倍程度が必要となるが，表面電子によるクーロン場の遮蔽の効果で分子結合が軟化することを取り入れると$\langle\sigma\rangle$が増大すると期待される．

[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.

© 2020年 応用物理学会