

高エネルギービーム生成に適した水素負イオン生成機構の解明 Production Mechanism Elucidation of Negative Hydrogen Ions Suitable for High-Energy Beam Generation

武田 俊明, 前谷 祐亮, 河田 晃佑, 日比野 徳亮, 大原 渡

Toshiaki Takeda, Yusuke Maetani, Kosuke Kawata, Tokuaki Hibino, Wataru Oohara

山口大院理工
Yamaguchi Univ.

核融合プラズマを加熱する負イオン型中性粒子入射加熱 (NBI) において, 負イオン生成には表面生成法や体積生成法が用いられている. ここで, セシウムフリーで高効率な負イオン生成法としてプラズマ支援触媒イオン化法を提案している[1,2]. これは, 正イオンを触媒に照射して, その照射裏面より正負イオンを生成する手法である. NBI用負イオン源において, 負イオンの引出し・加速に伴い, 高エネルギーの正イオンバックストリームが負イオン源に逆流する. 本イオン化手法によってNBI用負イオン源を構築する際には, バックストリームを通過させることのできる円筒形状の触媒であることが必要である.

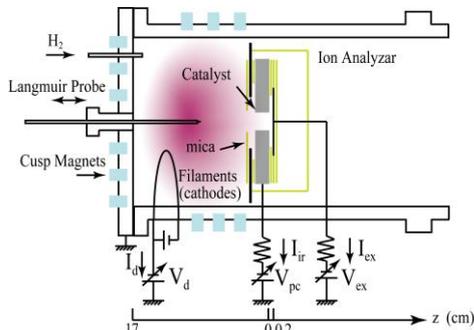


図 1: 実験装置概要.

ラインカusp磁場付の角型真空容器中で, 直流アーク放電により水素プラズマ (水素ガス圧 0.1 Pa) を生成している(図1). 直径13 mmの引出孔のあるFe製プラズマグリッド(Fe-PG)には, 直流電圧 V_{pc} (≤ -200 V) が印加されている. Fe-PGには正イオンが照射されており, 照射電流密度 J_{ir} は放電電力によって制御している. Fe-PGから2 mm離れたコレクタ電極に直流電圧 V_{ex} を印加して, 電場によって引出された正負イオンの引出電流密度 J_{ex} を測定した. ここではFe-PGの厚さが10 mmの場合の結果について述べる.

コレクタ電極において測定された, イオン引出電流密度 J_{ex} -電圧 V_{ex} 特性を図2 (a)に示す($J_{ir} = 10$ mA/cm²一定). また, $V_{ex} = +10$ V (~プラズマ電位 ϕ_s) における負電流密度を J_- とすると, J_- の V_{pc} また

は J_{ir} の依存性を図2 (b)に示す. V_{pc} が0 Vに近づくにつれて負電流が大きくなる(図2 (a)). これは, 負イオン電流に電子電流が重畳するためである. Fe-PG前面の電子反射電場は, 引出孔内に浸透している. また, 照射裏面側の引出電場も引出孔内に浸透している. $V_{ex} > V_{pc}$ は負電荷粒子を引出し加速する電場であり, 正イオン照射側の電場とは逆向きである. 図2 (b)より, V_{pc} が0 Vに近づき電子反射電場が弱くなると ($V_{pc} > -400$ V), 電子はより引出孔内に侵入し, 裏面の浸透している引出電場によって引出されて J_- が増加したと考えられる. 次に, V_{pc} を一定に保ち, J_{ir} を増加させてプラズマ密度を増加させると, $J_{ir} > 6$ mA/cm² で J_- が増加する(図2 (b)). プラズマ密度が高くなるとデバイ長は短くなり, 照射側の電場はより引出孔内に浸透する. 前述同様に電子が裏面の引出電場で引出されて J_- が増加したと考えられる. 負イオン引出電流を大きくするためには, J_{ex} と J_{ir} を共に大きくする必要がある. 一方, Fe-PGがスパッタされにくいように, V_{pc} はあまり負に大きくできない. いずれも電子が引出され易くなる条件であり, 電子引出を抑制するためには適切なFe-PGの厚さが必要であることが分かった.

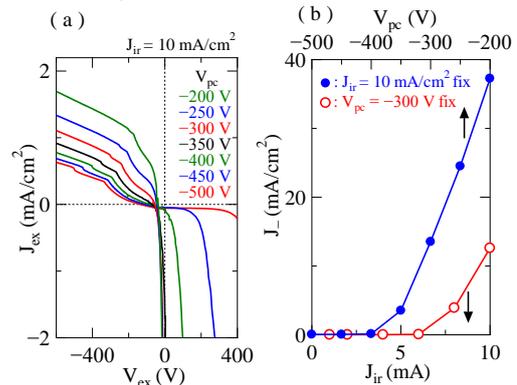


図2: (a)イオン引出特性, (b)負電流密度の触媒印加電圧, 照射電流密度依存性.

- [1] W. Oohara, T. Hibino, T. Higuchi, T. Ohta, Rev. Sci. Instrum. **83** (2012) 083509.
[2] W. Oohara, K. Kawata, T. Hibino, Phys. Plasmas. **20** (2013) 063506.