

水素負イオン源におけるプラズマメニスカス及び ビームハロ抑制に関する検討

Study of plasma meniscus and beam halo in negative hydrogen ion sources

西岡 宗¹ 奥田 晋¹ 宮本 賢治² 福山 俊茂¹ 畑山 明聖¹

慶應義塾大学理工学部¹ 鳴門教育大学²

S. Nishioka¹, S. Okuda¹, K. Miyamoto², T. Fukuyama¹, A. Hatayama¹

Faculty of Science and Technology, Keio University¹, Naruto University of Education²

1. 背景、目的

磁気閉じ込め型核融合プラズマを加熱する方法として中性粒子ビーム入射(NBI "Neutral Beam Injection")加熱法が用いられている。NBI 加熱では高エネルギー、かつ、大電流の負イオンビームの引き出しが必要となる。そのために、負イオン源の開発が行われている。しかし、負イオン源から引き出された負イオンビームには、ビームハロと呼ばれる発散成分が発生し、その一部が加速電極に入射する。その結果、電極への熱負荷が発生するという問題が起こる。ビームハロ発生メカニズムの詳細は未だ完全には理解されていない。従って、熱負荷を抑制するためにはビームハロ発生機構、またH⁻が水素負イオン源内部から引き出される過程を明らかにすることが重要である。また、ビームハロは負イオン源内の負イオン放出面(プラズマメニスカス)の形状に起因しているという報告がなされた[1]。以上を踏まえ、本研究はプラズマメニスカス形成とビームハロ発生機構の関係を詳細に理解し、ビームハロ抑制方法を検討することを目的とする。

2. 方法

負イオン源内部の電位構造及び、粒子軌道を PIC (Particle in Cell) 法を用いて解析した。モデルの構築、物理量の規格化、境界条件の設定を、文献[1], [2] に基づき行った。本研究では引き出し電圧、負イオン表面生成量、プラズマ電極 (PG) バイアス電圧、フィルター磁場強度をパラメーターとして計算を行い、種々のパラメーターによるプラズマメニスカス形状、および、ビームハロへの影響を検討した。

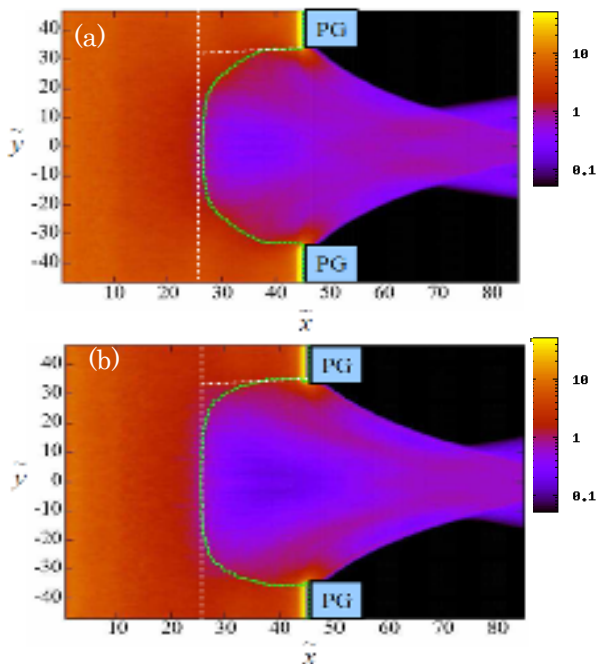


Fig. 1 引き出し領域における H⁻空間密度分布
(a)PG バイアス電圧 0.0V (b)PG バイアス電圧 3.0V

3. 結果

負イオンの密度分布 Fig.1 に示す。Fig. 1(a) は PG バイアス電圧を印加しなかった場合、Fig. 1(b) は PG バイアス電圧を 3.0V として印加した場合の結果である。Fig. 1 には $n_{H^-}=0$ の境界線を破線 (曲線) で示す。H⁺はこの境界線を越えると負イオン源内部方向へ加速されるため、内部へと引き戻される。一方、H⁻はこの境界線から引き出し方向に加速されるため、この境界線をメニスカス (負イオン放出面) と定義する。メニスカスの曲率、および、浸透を比較するために補助線(直線)を Fig.1 (a),(b)に示した。Fig. 1(a)と(b)とを比較すると、PG バイアス電圧を印加した場合、メニスカスの負イオン源内部への浸透は大きくなっている事がわかる。

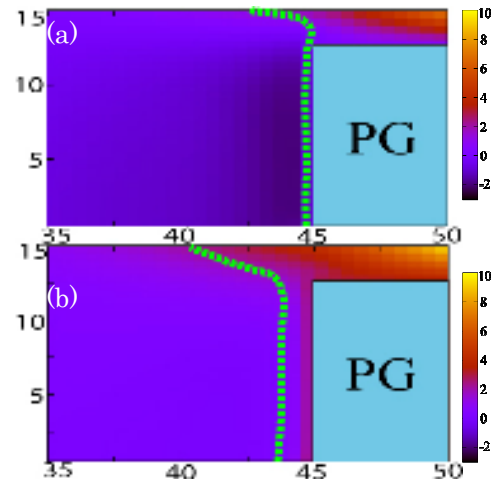


Fig. 2 PG 近傍の空間電位分布
(a)PG バイアス電圧 0.0V (b)PG バイアス電圧 3.0V

また、PG 近傍の空間電位分布を Fig. 2(a), (b)に示す。ここで、図中の破線は $d\phi/dx = 0.2$ の等高線を示す。PG バイアス電圧 0.0V ではこの等高線が PG 近傍に存在する。PG バイアス電圧 3.0V ではこの等高線がイオン源内部へ移動している事がわかる。そのため Fig. 1 (b) では PG が仮想的に負イオン源内部へと移動していると考えられる事ができる。加えて、PG 近傍でのメニスカスを比較すると、Fig.1(b)は(a)より曲率が小さいことがわかる。従って、PG バイアスを印加することで負イオン源内部への実質的なメニスカスの浸透、および、曲率を小さくすることがわかった。

以上のメニスカス形状の変化と、ビームハロ発生機構との関連を調べるために、ビームハロ成分の割合を Fig.1 (a)と(b)とで比較した。PG バイアス電圧を 0.0V とした場合は 51.5%、また PG バイアス電圧を 3.0V とした場合は 23.1%となった。

以上の結果より、PG バイアス電圧を印加することでビームハロの発生を抑制することが可能であることが示唆された。

その他のパラメーターがメニスカス形状とビームハロの割合に与える影響はポスター発表にて示す。

[1] K. Miyamoto, S. Okuda, A. Hatayama Appl. Phys. Lett. **100**, 233507 (2012)

[2] S. Kuppel, D. Matsushita, A. Hatayama, and M. Bacal J. Appl. Phys., **109**, 013305, (2011).